



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

**MAANTEIDEN LEVENNYSOSAN JA NYKYISEN
TIEN SAUMAKOHTIEN HALKEAMIEN
MUODOSTUMINEN**

Salla Konttinen

RAKENNUS- JA YHDYSKUNTATEKNIIKAN MAISTERIOHJELMA

Diplomityö

Syyskuu 2021

TIIVISTELMÄ

Maanteiden levennysosan ja nykyisen tien saumakohtien halkeamien muodostuminen

Salla Konttinen

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Diplomityö 2021, 154 s. + 1 liite

Työn ohjaajat yliopistolla: DI, FM Veikko Pekkala, professori Pekka Leviäkangas

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia tien levennysosan ja nykyisen tien välisen saumahalkeaman muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ja vastata tutkimuskysymykseen: Mitkä tekijät vaikuttavat tien levennysosan saumakohdan halkeamiseen? Tutkimus toteutettiin kirjallisuustutkimuksena sekä haastattelututkimuksena. Tutkimuskysymystä tarkasteltiin tien leventämishankkeen eri osa-alueiden kannalta. Haastattelutulokset analysoitiin teemoittain. Tutkimustuloksia pyritään hyödyntämään suunniteltavaan tien levennyskohteeseen.

Teorian perusteella määritettiin tekijöiksi tierakenteen kuivatus, levennysosan luiskakaltevuus, levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen, levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit sekä levennysosan jälkitiivistyminen.

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta kaikkien edellä mainittujen tekijöiden vaikuttavan tien levennysten saumahalkeamien muodostumiseen, mutta yleispäteviä määrittäviä tekijöistä ei voida tällä aineistolla tehdä. Määritetyt tekijät ovat tyypillisimpiä, mutta eivät välttämättä edusta kaikkia mahdollisia tapauksia. Tapauskohtaisesti eri tekijöiden ja niiden muodostamien kombinaatioiden vaikutusten merkitys vaihtelee halkeamien muodostumiseen, minkä vuoksi ei voi yleisesti sanoa merkittävyyssjärjestystä, vaan kaikki tekijät tulee ottaa tasapuolisesti huomioon jokaisessa kohteessa tien elinkaaren aikana eri toimenpiteiden yhteydessä. Haastattelututkimuksen ja kirjallisuustutkimuksen tulosten perusteella maanteiden leventämisrakentaminen vaatii lisätutkimusta ja kehittämistä.

Asiasanat: tien leventäminen, saumahalkeama, haastattelututkimus

ABSTRACT

Formation of seam cracks between the road widening section and the existing road

Salla Konttinen

University of Oulu, Degree Programme of Civil Engineering

Master's thesis 2021, 154 pp. + 1 Appendix

Supervisors at the university: M.Sc., M.A. Veikko Pekkala, Professor Pekka Leviäkangas

The aim of this master's thesis was to research the factors causing crackings between the road widening and the existing road. The following research question is presented: what factors influence the formation of seam cracks? The research comprises literature research and semi-structured interview of designers, contractors, and construction managers. The research question was viewed from different aspects of the road widening project. The results were analyzed according to themes. The results will be utilized in the road widening project.

The factors based on literature are road structure drainage, slope of the widening, location of the joint between the widening and existing road, overlapping of the widening section and the existing road surface, uneven frost heave of the widening section and the existing road, uneven settlement of the widening section and the existing road, uneven layer thicknesses and materials of the widening section and the existing road, and post-compaction of the widening section.

The results of the research confirmed that all the above-mentioned factors influence the formation of seam cracks in road widenings. However, the widened roads are very variable, so generally valid specification of the factors cannot be made. The factors identified are the most typical but may not represent all possible cases. It is not possible to say the order of importance in general, but all factors should be considered equally at during the road life cycle. Based on the interview research results and the literature review, the road widening construction requires further research and development.

Keywords: road widening, seam crack, interview

ALKUSANAT

Tämän diplomityön tarkoitus oli selvittää tien leventämisen yhteydessä tehtävien nykyisen tien ja levennysosan välisten saumahalkemien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä. Työhön haastateltiin alan ammattilaisia, joilla on kokemusta levennysrakenteiden suunnittelusta ja rakentamisesta rakennuttajan, suunnittelijan tai rakentajan roolissa. Työ aloitettiin alkukeväästä 2021, haastattelut toteutettiin loppukevään aikana ja työ valmistui syksyllä 2021.

Työn tilaajana olivat Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus ja Sitowise Oy. Työn ohjaajina toimivat Ari Kuotesaho POP ELY:lta, Pirkka Hartikainen ja Virpi Kaarakainen Sitowise Oy:stä sekä Pekka Leviäkangas ja Veikko Pekkala Oulun yliopistosta.

Haluan kiittää kaikkia edellä mainittuja ohjauksesta ja tuesta työn alkumetreiltä loppuhuipennukseen saakka, sekä haastateltavia kokemusten ja näkemysten jakamisesta. Ilman teitä tätä työtä ei olisi. Haluan myös kiittää Timoa erinomaisesta tuesta ja kannustuksesta. Ilman sinua tämä työ ei olisi ollut mahdollinen. Itseäni haluan taputtaa olalle ja todeta sanonnan ”Mitä enemmän tiedät, sitä vähemmän ymmärrät tietäväsi” pitävän hyvinkin paikkansa.

Tästä on hyvä jatkaa eteenpäin kohti seuraavia seikkailuja.

Oulu, 29.8.2021

Salla Kenttinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

MERKINNÄT JA LYHENTEET

1 Johdanto	8
1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja rajausta	10
1.2 Tutkimusmenetelmä ja aineisto.....	11
2 Tien leventäminen osana tien parantamishanketta.....	12
2.1 Esiselvitys ja yleissuunnittelu	14
2.2 Tie- ja rakennussuunnittelu	19
2.3 Toteutus.....	26
2.4 Pohjanvahvistusmenetelmät.....	29
2.4.1 Maanvarainen penger ja vastapenger.....	30
2.4.2 Massanvaihdon perustettu penger ja pohjaantäyttö.....	31
3 Tien levennysosan ja nykyisen tien väliset saumahalkeamat	35
3.1 Tierakenteen kuivatus	37
3.2 Levennysosan luiskakaltevuus	48
3.3 Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen	53
3.4 Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen	60
3.5 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen	64
3.6 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen	72
3.7 Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuuden ja materiaalit	77
3.8 Levennysosan jälkitiivistyminen.....	84
4 Haastattelututkimus.....	90
4.1 Haastattelututkimuksen prosessikuvaus.....	92
4.2 Haastatteluaineisto	96
5 Tutkimustulosten analyysi ja tulkinta	100
5.1 Tutkimustulokset.....	100
5.1.1 Tierakenteen kuivatus	101
5.1.2 Levennysosan luiskakaltevuus.....	102
5.1.3 Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen.....	103
5.1.4 Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen.....	104

5.1.5 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen	105
5.1.6 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen.....	107
5.1.7 Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit.....	108
5.1.8 Levennysosan jälkitiivistyminen	110
5.1.9 Muut haastatteluissa esiin tulleet tekijät	111
5.2 Analyysi ja tulkinta	116
5.2.1 Roolien painotetut vastausmäärät	116
5.2.2 Teeman vastauksien osuus kaikista vastauksista.....	119
5.2.3 Analyysin tulosten tulkinta	121
6 Haastattelutulosten soveltaminen.....	129
6.1 Suunniteltavan kohteen esittely.....	129
6.2 Tulosten soveltamishdotukset suunniteltavaan kohteeseen	130
7 Yhteenveto	133
7.1 Jatkotutkimus- ja kehitysehdotukset	136
7.2 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi	144
8 Pohdinta	146
LÄHDELUETTELO	149
LIITTEET:	
Liite 1. Haastatteluiden kysymysrunko	

MERKINNÄT JA LYHENTEET

PA	painokairaus
SI	siipikairaus
HE	heijarikairaus
CU	huokospainekairaus (CPTU)
HP	heijari-puristinkairaus
PO	porakonekairaus
VP	pohjaveden mittausputki
VO	orsiveden mittausputki
HV	huokosvedenpaineen mittaus
KO	koekuoppa
NO	näytteenotto, häiritty
NE	näytteenotto, häiriintymätön
KE	kallionäytekairaus, laajennettu
KR	kallionäytekairaus, videoitu
MTL	maatutkaluotaus
SVL	sähköinen vastusluotaus
RSL	refraktioseisminen luotaus
GMM	gravimetrinen mittaus
InfraRYL	infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset

1 Johdanto

Suomessa on päivittäisen liikkumisen ja elinkeinoelämän kilpailukyvyn kannalta tärkeitä päällystettyjä maanteitä noin 50 750 kilometriä. Näistä teistä Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun osuus on lähes 13 000 kilometriä. Maanteiden hoidosta, kunnossapidosta, liikenteen sujuvuudesta ja turvallisuudesta vastaavat ELY-keskusten L-vastualueet Väyläviraston ohjauksen mukaisesti. (Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus 2020) Maanteiden kunnosta pyritään huolehtimaan monilla eri tavoilla, kuten tien kuivatuksen parantamisella, painorajoituksilla, päällysteiden paikkaamisella, uudelleenpäällystämällä, tien rakenteen parantamisella ja tien leventämisellä. Teiden päällysteet kuitenkin kuluvat ajan saatossa, jolloin niihin muodostuu erilaisia turvallisuuteen ja tierakenteen kuntoon vaikuttavia vaurioita. Vaurioiden kehittymistä seurataan jatkuvasti muun muassa palvelutasomittauksilla ja inventoinneilla, joiden perusteella tehdään päätökset tien korjaamisesta. (Väylävirasto 2021)

Tien korjaaminen voi olla esimerkiksi päällysteen paikkaamista, uudelleenpäällystämistä tai koko tierakenteen parantamista (Väylävirasto 2021). Tien levennyksiä tehdään yleensä osana koko tien parantamishanketta, jolloin ajokaistoja tai pientareita levennetään tai rakennetaan lisäkaistoja (Tiehallinto 2005, s. 71). Tien leventämisellä voidaan vähäliikenteisimmilläänkin teillä vähentää jonkin verran autoliikenteen ja kevyen liikenteen onnettomuuksia, parantaa tien kuormituskestävyyttä, lisätä liikenteen sujuvuutta, mahdollistaa korkeampi nopeustaso sekä hidastaa jonkin verran päällysteen kulumista ja reunaurien painumista. Pää tavoitteeksi tien parantamiselle todetaankin yleensä liikenteen sujuvuuden parantaminen, kohtaamisonnettomuuksien vähentäminen tai useiden tavoitteiden yhdistelmä. (Liikennevirasto 2013a, s. 57)

Maantien korjaustavan valintaan vaikuttaa toimenpiteen kustannustehokkuus. Koska tämän hetken rahoitus ja rahoitusnäkymät eivät salli kaikkien huonokuntoisten osuuksien korjaamista, valtakunnallisten linjausten mukaisesti kunnostustöiden pääpaino on vilkasliikenteisillä teillä ja vähäliikenteisempää tieverkkoa kunnostetaan mahdollisuuksien mukaan. (Väylävirasto 2021) Tienpitoon käytettävästä rahoituksesta päätetään eduskunnassa valtion talousarvioesityksen yhteydessä (Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus 2020).

Tien leventämisen onnistuminen on tienpidossa tärkeässä roolissa resurssien rajallisuuden vuoksi sekä liikenteen sujuvuuden ja turvallisuuden takaamiseksi. Tien levennysosan ja nykyisen tien väliin voi muodostua 1–3 vuoden kuluessa rakentamisesta saumahalkeama (Kuva 1), joka kasvattaa tienpidon kustannuksia sekä vaikuttaa liikenteen sujuvuuteen ja turvallisuuteen. (Liikennevirasto 2018a, s. 114) Suomessa teiden levennyskohtien saumahalkeamia on tutkittu vähän, mutta kansainvälisesti tutkimustyö ja suunnitteluohjeistus ovat edenneet pidemmälle (Saarenketo & Varin 2012, s. 5–6). Tässä työssä perehdytään tutkimuksiin ja ohjeistuksiin sekä haastatellaan henkilöitä, joilla on kokemusta tien levennysten suunnittelusta ja rakentamisesta. Työ kohdennetaan Pohjois-Pohjamaan ja Kainuun joustavapäällysteisiin maanteihin, joiden kunnossapidolle ja korjaamiselle haasteita aiheuttavat erilaiset ilmastotyypit ja vaihtelevat maasto-olosuhteet (Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus 2020).



Kuva 1. Tien levennysosan saumahalkeama ja reunaosan painumaa (Konttinen 2021)

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tien leventämistä koskevien aiempien tutkimusten ja suunnitteluohjeistusten sekä haastattelututkimuksen avulla selvittää tien levennysten saumahalkeamien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuskysymykseksi asetettiin: Mitkä tekijät vaikuttavat tien levennysosan saumakohdan halkeamiseen? Saumakohdan halkeamisen muodostuminen määritellään siten, onko nykyisen tien ja levennysosan väliin ole muodostunut tien päällysteessä huomattavaa saumahalkeamaa 1–3 vuoden kuluessa rakentamisesta. Tutkimuskysymystä lähestytään tien levennys Hankkeen eri vaiheiden näkökulmasta.

Työn alkuosassa kappaleissa 2–3 käydään läpi tien parantamishankkeen eri vaiheet tien leventämisen näkökulmasta, esitellään leventämissuunnittelusta ja -rakentamisesta löytyvää tutkimustietoa ja käydään läpi levennysten suunnitteluun ja rakentamiseen liittyvää Suomessa noudatettavaa ohjeistusta. Työn loppuosassa kappaleissa 3–7 syvennyttään tarkemmin käytettyyn tutkimusmenetelmään, esitellään tutkimustulokset, tulosten tulkinta, yhteenveto ja johtopäätökset. Työn päättää kappaleen 8 pohdintaosuus.

Tutkimustyö rajataan koskemaan Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun joustavapäällysteisten, 7–9 m leveiden maanteiden tyypillisiä levennysrakenteita ja niiden yleisimpiä pohjanvahvistusmenetelmiä. Työn ulkopuolelle jätetään teräsverkko- ja geolujiterakenteet, joista löytyy kattavasti tietoa vuonna 2019 julkaistusta raportista Teräsverkkojen ja geovahvisteiden mitoittaminen erilaisissa vaurio-tilanteissa, Väyläviraston tutkimuksia 10/2019. Työn ulkopuolelle jätetään myös hoidon- ja ylläpidon osuus, koska työn tarkoitus on tutkia tien leventämistä suunnittelun ja toteutuksen kannalta.

Tien leventämisen suunnittelussa tie- ja geotekniikka linkittyvät vahvasti yhteen ja rajanveto näiden kahden tekniikkalajin välillä on lähes mahdotonta. Tässä työssä tien leventämisen saumahalkeamien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä käsitellään molempien tekniikkalajien osalta, mutta työ painottuu mahdollisuuksien mukaan geotekniikan puolelle. Työssä ei esimerkiksi esitellä tien geometrian suunnitteluperusteita, vaan keskitytään tien rakennekerrosten ja materiaalien suunnitteluun ja mitoittamiseen.

1.2 Tutkimusmenetelmä ja aineisto

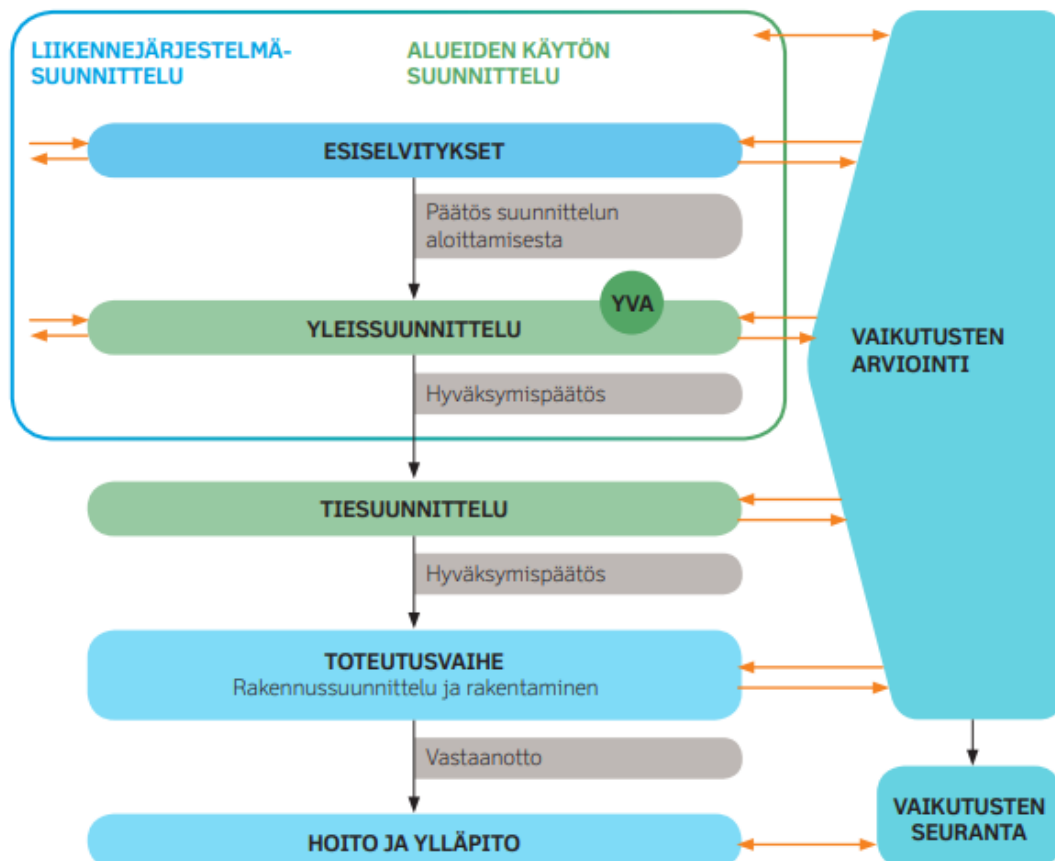
Ensimmäinen tutkimusmenetelmä on kirjallisuustutkimus. Kirjallisuustutkimuksen tutkimusaineisto koostuu tien leventämistä koskevista suunnittelu- ja mitoitusohjeista. Tien leventämisen suunnitteluun ja mitoitukseen ei ole Suomessa erillistä ohjeistusta, minkä vuoksi suunnittelu tehdään maanteiden suunnittelu- ja mitoitusohjeiden mukaisesti. Suunnitelmat perustuvat voimassa oleviin Väyläviraston ohjeisiin, InfraRYL:iin ja Infra Rakennusosa- ja hankenimikkeistöön. Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä säättää yleis- ja tiesuunnitelman lakisääteiksi suunnitelmiksi, kun taas rakennussuunnitelmasta ole säädöksiä laissa. (Liikennevirasto 2013b, s. 8, Finlex 2018)

Toisena tutkimusmenetelmänä on haastattelututkimus, jonka tavoitteena on kerätä kokemuksia ja näkemyksiä levennyssrakenteiden saumahalkeamien muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä henkilöiltä, joilla on kokemusta teiden levennyssuunnittelusta ja -rakentamisesta rakennuttajan, suunnittelijan tai rakentajan roolissa. Rakennuttajan rooli sisältää tilaajan ja valvojan edustajia, suunnittelijan rooli tie- ja geosuunnittelun edustajia ja rakentajan rooli urakoitsijan edustajia. Haastateltavat henkilöt valikoituivat työn tilaajan valitsemien kohteiden perusteella, jotka ovat esimerkkejä viimeaikaisista levennyshankkeista.

Kaikissa kohteissa oli tehty tien leventäminen vuosien 2016–2019 aikana. Kohteet olivat suunnittelujaksoltaan 13,6–26,7 kilometriä pitkiä, joustavapäällysteisiä maanteitä, jotka levennettiin tien parantamishankkeen yhteydessä peruspoikkileikkausten 8/7–9/7 mukaisiksi. Haastattelukysymykset käsittelivät tien levennyksen suunnittelua ja rakentamista yleisesti sekä haastateltavaa koskevaa kohdetta.

2 Tien leventäminen osana tien parantamishanketta

Tien parantamishankkeen osa-alueita ovat esiselvitys ja yleissuunnittelu, tie- ja rakennussuunnittelu sekä toteutusvaihe (Kuva 2). Esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa tutkitaan tiehankkeiden tarvetta ja ajoitusta, tunnistetaan tien leventämistarve, määritellään tien likimääräinen paikka ja tilantarve sekä suhde ympäröivään maankäyttöön. Tie- ja rakennussuunnitteluvaiheessa tehdään yksityiskohtaiset ratkaisut, määritetään tarkka tiealue, laaditaan kustannusarvio ja tehdään mahdollinen kustannusten jako sekä laaditaan rakentamisessa tarvittavat yksityiskohtaiset suunnitelmat ja asiakirjat. Toteutusvaihe sisältää leventämisen rakentamisen, jonka jälkeen tie siirtyy hoidon ja ylläpidon piiriin. Rakennussuunnitelma on mahdollista tehdä myös toteutusvaiheessa, jolloin suunnitelman laatijana toimii suunnittelijan sijasta rakentaja. (Liikennevirasto 2010b, s. 7–11)



Kuva 2. Tien suunnittelun ja rakentamisen kulku (Liikennevirasto 2010b, s. 5)

Tien levennyksiä tehdään ajokaistojen tai pientareiden leventämisen tai lisäkaistojen rakentamisen yhteydessä. Leventämiskohteet ovat hyvin vaihtelevia tien

rakentamishistorian, leventämisen suuruuden ja pohjaolosuhteiden vuoksi, mikä vaikuttaa myös tehtävien geoteknisten tutkimusten tarkkuuteen ja laajuuteen. Alle puoli metriä puolelleen tehtäville levennyksille ei yleensä tarvita tarkkoja pohjatutkimuksia, kun taas levennyksen ollessa yli puoli metriä puolelleen, tarvitaan aina tiesuunnitelman laatiminen ja tiesuunnitelman mukaiset tutkimukset. Levennysten suunnittelussa tutkitaan levennyksen suuruudesta riippumatta luiskän materiaali, nykyisen tien rakennekerrokset ja luiskän jyrkkyys levennysmenetelmän valinnan lähtötiedoiksi. (Tiehallinto 2005, s. 71)

Hankkeen kustannukset muodostuvat pitkälti esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheissa tehtävien ratkaisujen pohjalta. Esiselvitysten aikana on erityisen tärkeää arvioida oikein erilaisten tieteknisten ratkaisuvaihtoehtojen pohjarakennuskustannukset kokonaiskustannusten arviointia varten. Pohjarakennusmenetelmien valintaa, mitoittamista ja kustannusten arviointia hankaloittaa useat eri pohjarakentamiseen liittyvät riskit. Riskejä ovat pohjatutkimusten vähäinen määrä alustavissa suunnitteluvaiheissa ja pohjasuhteiden arvioinnin epävarmuus, käytettävän rakentamisajan epäselvyys sekä työjärjestyksen, ympäristövaikutusten ja tiehen liittyvien muiden rakenteiden sisältämien tekijöiden aiheuttama kustannus- tai muu rajoittava riski. Yleensä pohjarakennuskustannukset arvioidaankin esiselvitysvaiheessa niin sanottujen varmojen ratkaisujen pohjalta, joita ovat esimerkiksi kaivamalla tehtävä massanvaihto ja pohjaantäyttö vapaassa maastossa. Jos kohde luokitellaan erityisen vaativaksi, voidaan pohjarakenneratkaisuja ja niiden kustannuksia tutkia ja varmistaa tavallista tarkemmin jo esiselvitysvaiheessa. (Liikennevirasto 2014, s. 62)

Tien leventämisen kustannuksiin vaikuttaa olennaisesti se, onko tie rakennettu vai rakentamaton, sekä pohjamaan ominaisuudet, koska leventäminen pehmeiköllä on kustannuksiltaan korkeampaa kuin kantavalla maalla (Liikennevirasto 2013a, s. 61). Tie jaotellaan rakennettuihin ja rakentamattomiin teihin tien rakennekerrosten mukaan. Rakennetussa tiessä on erotettavissa selkeät, vaatimusten mukaisista materiaaleista rakennetut rakennekerrokset, kun taas rakentamattoman tien rakennekerrokset eivät ole selkeästi erotettavissa eikä materiaalit välttämättä vastaa rakennekerroksille asetettuja vaatimuksia. Myös kevyesti parannetut, päällystetyt soratiet luetaan rakentamattomiin teihin. (Tiehallinto 2005, s. 72)

Nykyisen tien rakennekerrokset vaikuttavat levennysrakenteen toteuttamiseen. Rakennetun tien leventäminen voidaan tehdä käyttämällä samanlaista rakennetta kuin nykyisellä tiellä, eikä levennyssaumahalkeamia juuri esiinny, kun taas rakentamattoman tien leventämisessä levennyssaumahalkeamat ovat yleisiä ja nykyinen tierakenne joudutaan usein purkamaan ennen leventämistä. Rakentamattoman tien levennyssaumahalkeamat voivat olla talvisin vaarallisen porrastuneita ja vaikeasti korjattavia. (Liikennevirasto 2013a, s. 61)

2.1 Esiselvitys ja yleissuunnittelu

Esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa tunnistetaan ja selvitetään leventämisrakentamisen tarve ja edellytykset. Esiselvitysvaiheessa selvitetään, voiko nykyisen tien rakennetta hyödyntää ja kannattaako rakennetta hyödyntää tien leventämisessä. Nykyisen tien käyttökelpoisuuden arvioinnissa tie luokitellaan toimenpideluokkiin A - D, joihin kaikkiin voi liittyä tien leventäminen. Luokan A tiellä ei tehdä toimenpiteitä nykyiselle päällysrakenteelle. Luokan B tiellä nykyisen rakenteen päälle rakennetaan uusi kulutuskerros ja korjataan tarvittaessa sivukaltevuuspuutteet ja painumat. Luokan C tiellä parannetaan nykyisen rakenteen kuormituskestävyyttä tai nostetaan tasausta lisäämällä sitomattomia kerroksia tai käsittelemällä nykyisen rakenteen yläosaa sekä rakentamalla uudet päällystekerrokset. Luokan D tiellä ei hyödynnetä nykyistä rakennetta, vaan rakennetaan uudet kerrokset nykyisten tilalle tai kokonaan toiseen paikkaan. (Liikennevirasto 2018a, s. 100)

Esiselvitysvaiheessa tehdään selvityksiä nykyisen tien rakenteesta ja vaurioista. Esiselvitysvaiheessa leventämisrakenteen suunnittelua varten selvitetään nykyisen tien päällysteen ja koko rakenteen paksuus ajoradalla ja mahdollisella leveällä pientareella, luiskien rakenne, nykyisen tien painumat sekä varautumistarve levennyksen painumiseen ja routanousun aiheuttaman levennyssauman halkeamaan tai porrastumaan. (Liikennevirasto 2018a) Lisäksi tulee selvittää tiealueen riittävyys, kuivatusolosuhteet ja maaperäolosuhteet. Esiselvitysvaiheeseen on hyvä sisällyttää vaurioiden syiden kuvaus ja toimenpidesuosituksen tekeminen. (Tiehallinto 2005, s. 10)

Tien leventämisen suunnittelussa tulee aina selvittää myös nykyisen tierakenteen vahvistamistarve. Esiselvitysvaiheessa on selvitettävä erityisesti epätasaisesti routivat tai painuvat osuudet, laajat reunapainumaosuudet, tien kerrosrakenteiden routivuus, tien

suuret routanousut sekä paksut tai jäykät sidotut kerrosrakenteet. Jos nykyinen tierakenne vaatii vahvistamista, voidaan se tehdä stabiloimalla tai murskelisäyksellä. Murskelisäyksellä tehtävä vahvistaminen tasoittaa levennyksen ja nykyisen tien kantavuus- ja routivuuseroja, parantaa rakenteen kuivatusolosuhteita ja joissain tapauksissa helpottaa tien poikittaissuuntaisten painumaerojen hallintaa tien keskikohdan muuttuessa myös jonkin verran painuvaksi. (Tiehallinto 2005, s. 72)

Tien leventämisen suunnittelutyöhön sisältyy myös tulevien vaurioriskien arviointi. Arviointia varten maastossa inventoidaan tarkasti nykyisen tien vauriot ja tehdään tarvittavat tutkimukset vaurioiden syiden selvittämiseksi. Yleensä on selvitettävä, onko nykyiselle tielle tehty korjauksia teräsverkolla tai routaeristeillä, onko tiessä käytetty maabetonia ja onko tiessä pahoja reunapainumia (Kuva 3). (Tiehallinto 2005, s. 77) Päällistetyt tien vauriot voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin ja niiden alatyyppeihin. Päätyyppejä ovat halkeamat, epätasaisuus ja hajoamisvauriot. Halkeaman alatyyppejä ovat poikkihalkeaman, pituushalkeama, vinohalkeama, saumahalkeama ja verkkohalkeama. Epätasaisuuden alatyyppejä ovat pituussuuntainen epätasaisuus ja poikkisuuntainen epätasaisuus. Hajoamisvaurion alatyyppejä ovat purkauma ja reikä. (Tiehallinto 2002a, s. 39)



Kuva 3. Reunapainumaa sekä päällysteen reunan ja luiskan sortumista (Konttinen 2021)

Tien pituussuuntaiset ja poikkisuuntaiset epätasaisuudet muodostuvat ja ilmenevät eri tavoilla. Tien pituussuuntaisten epätasaisuudet ovat erilaisia heittoja ja painumia, jotka syntyvät ja lisääntyvät liikennekuormituksen, tierakenteen oman painon, epätasaisen routanousujen sekä tierakenteen laadun ja toiminnan vaikutuksesta. Tien poikkisuuntainen epätasaisuus ilmenee leveillä teillä urautumisena ja kapeilla teillä ajourien välisen harjanteen korkeuden kasvuna. Poikkisuuntaista epätasaisuutta aiheuttaa vilkasliikenteisillä teillä pääasiassa päällysteen kuluminen ja vähäliikenteisillä teillä päällysteen, sitomattomien kerrosten ja alusrakenteen pysyvät muodonmuutokset. Tien päällysteen hajoamisvaurioiden perussyö on sideaineen ja kiviainesten välinen heikko sidos, mihin päällystemassan ominaisuudet vaikuttavat. (Tiehallinto 2002a, s. 40, 49)

Tierakenne toimii aina yhtenäisenä kokonaisuutena, jolloin muutos yhdessä rakennekerroksessa vaikuttaa koko rakenteen toimintaan. Yksittäinen vaurio voi nopeuttaa toisen tyyppisen vaurion syntymistä, esimerkiksi halkeama nopeuttaa päällysteen väsymistä, urautumista ja kasvattaa pituussuuntaista epätasaisuutta. Päällystetyn tien halkeamia aiheuttavat routiminen, painuminen, raskaan liikenteen aiheuttamat rasitukset ja lämpötilamuutoksiin liittyvät jännitykset. (Tiehallinto 2002a, s. 64)

Erityyppisiä vaurioilla voi olla sama aiheuttaja ja tietyn tyyppinen vaurio voi nopeuttaa toisen tyyppisen vaurion syntymistä, minkä vuoksi pahoin vaurioituneilla teillä voi olla useista eri vauriotyypeistä johtuvia vaurioita ja yleispätevää tien vaurioitumisprosessia voi olla mahdoton selvittää. Tien kuntoa voidaan kuvata vauriosummalla, joka ilmaisee rikkinäisen päällysteen pinta-alaa 100 tiemetriä kohti. Vauriosumman tulkitsemisessa on kuitenkin huomioitava, että siinä ei huomioida paksupäällysteisille AB-teille tyypillisiä pakkaskatkoja. (Tiehallinto 2002a, s. 40)

Tierekisteristä, vanhoista suunnitelmista ja haastatteluiden avulla voidaan selvittää tien rakentamishistoriaa. Tietoja voidaan tarkentaa ja tarkistaa nykyisen tierakenteen tutkimuksilla, kuten näytekairauksilla, koekuopilla ja häiriintyneiden näytteiden tutkimisella. Oleellista on saada selville nykyisten rakennekerrosten paksuus, materiaalit ja pohjanvahvistustavat. (Tiehallinto 2005, s. 71) Rakentamishistorian perusteella tiet jaetaan neljäksi eri leventämistyyppiksi, joiden perusteella voidaan tehdä päätelmiä tierakenteen ominaisuuksista ja määrittää tapauskohtaisesti erityistutkimuksia. Tie voi

olla rakennettu tie, kertaalleen parannettu rakennettu tie, kevyesti parannettu rakentamaton tie tai kevyesti parannettu tai rakentamaton tie. (Tiehallinto 2005, s. 72)

Esiselvitysvaiheessa tehdään kuitenkin yleensä määrällisesti vähän pohjatutkimuksia. Esiselvitysvaiheessa kohteeseen sopivien ja hyödyllisten pohjatutkimusten ja pohjatutkimusmenetelmien valitseminen on tärkeää, minkä vuoksi pohjatutkimusten ohjelmoinnissa on hyvä käyttää apuna kartta- ja ilmakuvatulkintaa, geofysikaalisia tutkimuksia, vanhojen kuvien inventointia ja maastokäyntejä. Geoteknisiä laskelmia tehdään yleensä esiselvitysvaiheessa vähän, poikkeuksena vaativat olosuhteet. Vaativia olosuhteita voivat olla alueen heikko vakavuus, pehmeikköalueiden syvät leikkaukset, pehmeikköalueiden rakennuskustannuksiltaan huomattavat pengerosuudet tai merkittävät ympäristövaikutukset, kuten rakentamisen aiheuttama pohjaveden aleneminen pehmeikköalueilla. (Liikennevirasto 2014, s. 62–63)

Käytettävät geotekniset tutkimusmenetelmät valitaan pohjatutkimusohjelman laadinnan yhteydessä kohteen olosuhteiden mukaisesti. Kuvassa 4 on esitetty kenttätutkimusmenetelmät Liikenneviraston ohjeen Geotekniset tutkimukset ja mittaukset mukaisesti. Lähtötilanteen kartoittamiseksi ohjelmoitavat pohjavesi-, painuma-, sivusiirtymä-, huokospaine sekä muut seurantamittaukset on dokumentoitava niin, että niitä voidaan tarvittaessa jatkaa seuraavassa suunnitteluvaiheessa. (Liikennevirasto 2015, s. 39, 42)

Maaperän ominaisuus - tunneleissa kallion ominaisuus		Tutkimuksen kohde							
(taulukossa käytettyjen termien ja lyhenteiden selitykset on esitetty taulukossa 12)		Kantava pohjamaa	Pehmeikkö	Rakenteet	Kalliotilat	Väylän päällysrakenne (Nykyisen rakenteen näytteet)	Pohjavesialueet	Läjitälyalueet	Kallioleikkaukset, Kivainesotto
Määritettävä ominaisuus		Kenttätutkimusmenetelmät							
I	Maakerrosten laatu	HE, HP, NO, PA, PO, (MTL), (RSL)	HP, PA, CU, NO, (HE), (PO), (SVL)	HP, CU, PA, PO, HE, KO, (NO)	PO, KE, KR	NO, KO, (MTL)	HP, PA, PO, NO, (HE)		PO, KE, (MTL), (RSL), (GMM)
I	Kokoonpuristuvien tai huonosti kantavien kerrosten paksuus		PA, HP, CU, (SVL)	PA, HP, CU, (KO), (NO)				PA, HP	
II	Pohjavedenpaineen, orsivedenpinnan ja/tai pohjavedenpinnan mittaust	VP, (MTL), (SVL)	VP, (HV), (VO), (GMM)	VP, (HV), (VO)	VP		VP		
III	Lujuus- ja kantavuusominaisuudet	NO, HP, HE	NE, CU, SI	PA, HP, HE, CU, NO, SI	PO, KE, KR	NO, KO		NO, SI	PO, KE, (RSL)
IV	Kokoonpuristuvuus- ja vedenläpäisevyys-ominaisuudet	NO, HP, HE	NE, CU, (NO), (PA), (HP), (SVL)	CU, HE, HP, NO, PA, (NE)	KE, KR			(NO)	
V	Routivuus	NO	(NO)	NO		NO, KO			
VI	Korroosiotutkimus, stabiloituvuustutkimus, betonin kemiallinen aggressiivisuus, hapan sulfaattimaa		NO	NO					

Kuva 4. Kenttätutkimusmenetelmät maamateriaalien ja pohjamaan selvittämiseksi (Liikennevirasto 2015, s. 42)

Kuvassa 5 on esitetty esiselvityksen ja yleissuunnittelun aikana tehtävien kenttätutkimusten määräsuositukset Liikenneviraston ohjeen Geotekniset tutkimukset ja mittaukset mukaan. Lisäksi voidaan käyttää geofysikaalisia tutkimusmenetelmiä, jolloin yleensä kairauksien määrää voidaan harventaa ja kohdentaa tarkemmin. Suositusmääriä

voidaan tapauskohtaisesti harventaa tai tihentää pohjasuhteiden muuttuessa sekä tasausviivan ja tien leveyden mukaan. (Liikennevirasto 2015, s. 46–47)

Kohde	Selvitettävä ominaisuus	Tutkimuspisteiden väli linjan pituussuunnassa ⁽¹⁾		Tutkimus- pisteiden lukumäärä / poikkileikkaus ⁽²⁾
		Pienipiirtei- nen pohjamaa	Homogeeni- nen pohjamaa	
Pehmeikkö	Maakerrokset, leikkauslujuus	40 m	80 m	1...2 kpl
Kantava pohjamaa	Maalaji, routivuus	60 m	120 m	1...2 kpl
Penger	Pohjamaan lujuus	60 m	120 m	1...2 kpl
Leikkaus	Pohjamaan routivuus, pohjavesi, kalliopinta	40 m	80 m	1...2 kpl
Siltapaikat ⁽⁴⁾	Maakerrokset, lujuus, pohjavesi, kalliopinta			1...2 kpl / tuki- linja ⁽³⁾
Muut taylorakenteet	Maakerrokset, pohjavesi, kalliopinta	40 m		1...2 kpl
Tunnelit	Kalliopinnan korkeusasema, pohjavesi	Tutkimukset kohdistetaan maapeitteisiin painanteisiin. Pisteväli tapauskohtaisesti kalliopinnan topografian mukaan, 1 seisminen linja / tunneli. Tarvittaessa tehdään myös kallion laadullisia tutkimuksia.		

Kuva 5. Esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheen kenttätutkimusten määräsuositukset (Liikennevirasto 2015, s. 47)

2.2 Tie- ja rakennussuunnittelu

Ennen rakentamista laaditaan tiesuunnitelma ja rakennussuunnitelma. Tiesuunnitelma on laadittava ja lain liikennejärjestelmästä ja maanteistä mukaisesti hyväksyttävä aina, ellei hankkeen vaikutukset ole vähäiset ja hanketta varten ei oteta lisäaluetta tai maanomistaja on antanut suostumuksen lisäalueen ottamiseen. Yleensä tiesuunnitelma perustuu lain liikennejärjestelmästä ja maanteistä mukaiseen hyväksytyyn yleissuunnitelmaan, toimenpidesuunnitelmaan tai aluevaraussuunnitelmaan, mutta pienissä hankkeissa lähtökohtana voi olla esi- tai tarveselvitys. Tiesuunnitelmassa osoitetaan tien sijainti, korkeusasema ja poikkileikkaus siinä tarkkuudessa, että tiealue voidaan merkitä maastoon, esitetään arvio tien vaikutuksista sekä toimenpiteistä haitallisten vaikutusten

poistamiseksi tai vähentämiseksi sekä tuodaan ilmi tien suoja- ja näkemäalueet sekä mahdolliset varaukset tien tulevaa leventämistä varten. Tiesuunnitelma laaditaan siinä tarkkuudessa, että sen perusteella voidaan laatia rakentamisen kustannusarvio. (Liikennevirasto 2010c, s. 6)

Tien rakennussuunnitelma perustuu yleensä hyväksyttyyn lainvoimaiseen tiesuunnitelmaan, mutta vaikutuksiltaan vähäisestä tien parantamishankkeesta voidaan laatia suoraan tien rakennussuunnitelma. Rakennussuunnitelmassa määritetään rakennettavat tiet ja rakenteet yksityiskohtaisesti ja yksiselitteisesti. Jos rakennussuunnitelmavaiheessa joudutaan oleellisesti poikkeamaan tiesuunnitelmavaiheessa tehdyistä ratkaisuksista ja muutoksen vaikutus ei ole vähäinen, laaditaan tiesuunnitelman muutossuunnitelma. Hankekohtaisesti harkitaan poikkeaman haitallisten vaikutusten perusteella sellaiset sallitut poikkeamat tiesuunnitelmasta, jotka eivät vaadi tiesuunnitelman muutossuunnitelman laatimista. (Liikennevirasto 2013b, s. 8)

Tien rakentamisen yhteydessä on syytä varautua tien leventämiseen seuraavien 10–20 vuoden kuluttua tien rakentamisesta suurimpien kaupunkien lähistöllä. Varautumiskeinoja voivat olla leventämisen huomioiminen pehmeikköjen pohjanvahvistuksien suunnittelussa, keskialueen suunnittelu riittävän leveäksi, valaisinpylväiden sijoittaminen keskialueelle, kallioleikkauksien riittävä louhinta, kevyen liikenteen väylän edessä olevan välialueen suunnittelu riittävän suureksi, päätien sillan kannen rakenteen suunnittelu riittävän paksuksi sekä päätien ylittävän sillan maatukien suunnittelu niin, että luiskan jyrkentäminen myöhemmin on mahdollista ilman perustusten muuttamista. (Liikennevirasto 2013a, s. 56)

Tiesuunnitelmavaiheessa tehdään pohjarakennusratkaisut, joiden avulla voidaan määrittää lain liikennejärjestelmästä ja maanteistä mukaisesti hankkeen tiealue ja kustannukset. Ratkaisu edellyttää kohteen mukaisesti riittävää määrää vaihtoehtoja ja niiden suunnittelua niin tarkasti, että tiedetään kaikki kustannuksiin vaikuttavat oleelliset tekijät, tilantarve, rakentamisaika sekä voidaan olla varmoja vaihtoehtojen toteutettavuudesta. Myös muut mahdolliset pohjarakennus- ja rakenneratkaisut pyritään määrittelemään pohjatutkimusten riittävyuden määrittämiseksi sekä mahdollisten hylättyjen vaihtoehtojen hylkäämisyyt dokumentoidaan. Rakennussuunnitteluvaiheessa tiesuunnitelmavaiheen suunnitelmat tarkennetaan rakentamisen vaatimaan tarkkuuteen. Pohjarakennus- ja rakenneratkaisuja voidaan joissain tapauksissa joutua vaihtamaan

kustannusten jakautumisen muuttuessa tai aiempien suunnitteluvaiheiden ratkaisujen korjaamistarpeen vuoksi. (Liikennevirasto 2014, s. 63–64)

Tiesuunnitelman tulee sisältää geoteknisiä tutkimuksia siinä laajuudessa, että pohjaolosuhteiden selvittäminen riittävän tarkasti on mahdollista koko hankkeen alueelta (Liikennevirasto 2015, s. 47). Tien leventämisen suunnittelussa tarvitaan myös tasausviivan mitattu sijainti (Liikennevirasto 2018a, s. 101). Vaikka pohjarakenteet mitoitetaan tiesuunnitelmavaiheessa pääosin alustavasti, on rakenteet voitava suunnitella riittävän yksityiskohtaisesti väylien linjauksien ja tasauksien mukaisesti, minkä vuoksi jo tiesuunnitelmavaiheessa tarvitaan kattavia pohjatutkimuksia vaihtoehtoisten rakenteiden ja tilantarpeiden vertailuun. Tiesuunnitelmavaiheessa tehtyjä tutkimuksia täydennetään rakennussuunnitelmavaiheessa kattamaan kaikkien pohja ja taitorakenteiden sekä maa- ja päällysrakenteiden yksityiskohtainen mitoitus ja suunnittelu. (Liikennevirasto 2015, s. 47, 50)

Lähtötiedot rakenteiden suunnittelua varten hankitaan pääsääntöisesti eri kairaus- ja näytteenottomenetelmillä sekä joissain tapauksissa geofysikaalisilla menetelmillä. Pohjatutkimusohjelman laatijan on huomioitava suunnitteluvaiheen mukaisesti, että tehtävistä tutkimuksista saadaan riittävät tiedot kohteen geoteknisistä ja kallioteknisistä olosuhteista niin alueellisesti että syvyyssuunnassa, saadaan riittävät ominaisuustiedot rakenteen suunnittelemisen ja mitoittamisen kannalta, kohteeseen kyetään määrittämään tai arvioimaan rakentamisen aiheuttamat vaikutukset ympäristöön ja ympäröivien rakenteiden vaikutus kohteeseen sekä tekemään analysointia, muutoksia ja vaihtoehtotarkasteluja edellisissä suunnitteluvaiheissa tehtyihin ratkaisuihin. (Liikennevirasto 2015, s. 38)

Leventämisen suuruus määrittää, mitä pohjatutkimuksia tehdään ja mitä niillä on tavoitteena selvittää. Leventämisen suuruudesta riippumatta selvitetään nykyisen tien päällysrakenteen kokonaispaksuus sekä rakennekerrosten materiaalit reunimmaisen ajokaista kohdalta ja erikseen yli 1,5 m levyiseltä pientareelta, päällystekerrosten kokonaispaksuus koko levennettävältä tiepituudelta reunimmaisen ajokaista ulkouran kohdalta sekä erikseen yli 1,5 m levyisiltä pientareilta sekä levennettävän luiskan rakenne, rakennekerrosten ulottuminen sisäluiskassa ja maalaatikkorakenteiden ja pohjarakenteiden leveys. Lisäksi selvitetään mahdolliset teräsverkot tai muut vastaavat lujitteet, routaeristeet sekä luiskaan asennetut kaapelit. Enintään 0,75 m leveissä

levennyksissä selvitetään lisäksi luiskakaltevuus, jos leventäminen on mahdollista toteuttaa luiskaa jyrkentämällä ja sivuojaa siirtämättä. (Liikennevirasto 2018a, s. 104–105)

Enemmän kuin 0,75 m leveissä levennyksissä selvitetään edellä mainittujen selvitysten lisäksi levennysosan pohjaolosuhteet routa- ja painumariskin sekä penkereiden ja kallioleikkausten vakavuuden arvioimiseksi ja alusrakenneluokan määrittämiseksi, arvio pehmeikölle maanvaraisesti rakennetun tiepenkereen painumanopeudesta ja kokonaispainumasta. Nykyisen tien routanousun ollessa pääosin tasaista ja päällysrakenteen ollessa routivilla pohjamailla vähintään 1,0 m paksuinen eikä päällysteessä ole epäjohtonmukaisia muutoskohtia, voidaan levennykseen rakentaa helposti nykyistä päällysrakennetta vastaava rakenne ja nykyisen tien routanousua ei tarvitse määrittää. Nykyisen päällysrakenteen ollessa selvästi nykyisiä mitoitusvaatimuksia ohuempi, routanousun ollessa suuri tai routanousu tai päällysrakenteen paksuus vaihtelee pituussuunnassa epäjohtonmukaisesti, on harkittava nykyisen tien soveltuvuutta leventämiseen. Käytännössä kuitenkin leventäminen suunnitellaan ja toteutetaan, jos liikenteelliset syyt, liikenneturvallisuus tai muu syy sitä edellyttää. (Liikennevirasto 2018a, s. 105)

Kuvassa 6 on esitetty tiesuunnitelmavaiheen pohjatutkimusten tavoitteet ja suositellut määrät Liikenneviraston ohjeen Geotekniset tutkimukset ja mittaukset mukaisesti. Tiesuunnitelmavaiheessa myös voidaan pohjatutkimuksia tihentää tai harventaa pohjasuhteiden muuttuessa. Rakenteiden kohdalla tutkimuspisteväliä tihennetään sekä silloin, kun pohjasuhteet tai topografia muuttuu tien poikkisuunnassa. Pohjarakenteiden rajakohdan tutkimuspisteväliä voidaan harventaa, jos rajakohta voidaan tarkentaa rakentamisen aikana. Alueellisen vakavuuden, rakenteellisen kokonaisvakavuuden, pehmeikölle rakennettavien maanvaraisten rakenteiden aiheuttamien painumien sekä syvästabiloinnin selvittämiseksi pisteväliä tihennetään maan ominaisuuksien selvittämiseksi kaikista rakenteen mitoittamisen kannalta merkittävistä kerroksista. (Liikennevirasto 2015, s. 47–49)

Kohde	Selvitettävä ominaisuus	Tutkimuspisteiden väli linjan pituussuunnassa ⁽¹⁾	Tutkimuspisteiden lukumäärä ja pistevälin maksimiarvo poikkileikkauksessa ⁽²⁾
Pohjaolosuhteet linjalla			
Pehmeikkö	Maakerrokset, leikkauslujuus, painuma-ominaisuudet	20...40 m	2...5 kpl 25 m
Kantava pohjamaa	Maalaji, routivuus	20...40 m	2...3 kpl 25 m
Penger	Pohjamaan lujuus	20...40 m	1...3 kpl 25 m
Maaleikkaus	Pohjamaan routivuus, pohjavesi, kalliopinta	20...40 m	2...5 kpl 25 m
Kallioleikkaus	Kalliopinta, kallion laatu	20...40 m	2...3 kpl 25 m
Rakenteiden tutkimukset			
Pohjarakenteet	Rakenteen rajakohdat ⁽³⁾ , suunnittelu-parametrit ⁽⁴⁾	10...20 m	2...5 kpl
Siltapaikat ja muut taitorakenteet	Maakerrokset, pohjavesi, kalliopinta		2...4 kpl / tukilinja
Rummut (nykyinen tie tai rata)	Maakerrokset, täytön alapinta, kivisyys, kalliopinta		2...3 kpl / rumpu
Nykyiset rakenteet ja penkereet ⁽⁵⁾	Päällysrakenne, perustamistapa	20...100 m	1...3 kpl
Nykyisen radan routatutkimukset ⁽⁶⁾	Routivan yläpinnan selvittäminen	80...150 m	
Erikoistutkimukset			
Betoni- ja teräsrakenteet	Maaperän aggressiivisuus, korroosio	1...2 kpl / kohde	
Syvästabilointi	Stabiloituvuus	1...3 kpl / kohde	
Kaivu- ja leikkausmassat	Sulfidisavet	1...2 kpl / kohde	

Kuva 6. Tiesuunnitelmavaiheessa tehtävien pohjatutkimusten määrien suositukset (Liikennevirasto 2015, s. 48)

Tien leveyssuunnassa tehtyjen pohjanvahvistusten ulottuvuus selvitetään vanhojen suunnitelmien ja tarpeen mukaan maastossa tehtävien tarkistusten perusteella esimerkiksi koekuopilla. Toteutuneen massanvaihdon syvyys saadaan tarkistettua porauksilla ja

maanvaraisesti tai kevennystä käyttäen rakennetun tien painumaominaisuudet saadaan selvitettyä täysimittakaavaisella painumakokeella. Painumakoe toteutetaan suunnitteluaihana ja jatketaan suunnitteluvaiheiden välillä. Painumakokeessa selvitetään toteutuneet lisäpäällistykset, tien aikaisemmin tapahtunut painuma ja painuma-aika sekä toteutuneet kuormitukset. Maatutkaluotaus on todettu toimivaksi menetelmäksi päällistekerroksen paksuuden, rakennekerrosten, penkereen paksuuden ja kevennyspaksuuden tutkimuksissa rakennetuilla teillä, mutta massanvaihdon rajan tarkistuksessa maatutkauksella saadut tulokset ovat olleet epäonnistuneita massanvaihtomateriaalin ja pehmeän pohjamaan sekoittumisen vuoksi. Myös tien suolaus voi vaikuttaa maatutkaluotauksen tuloksiin suolan häiritessä tutkauskalusteiston toimintaa, mikä on huomioitava maatutkaluotauksen suunniteltaessa ja soveltuvuutta arvioitaessa. (Liikennevirasto 2014, s. 17–19)

Pehmeiden pohjamaakerrosten selvittämisessä nykyiselle tielle tehty pohjatutkimukset ovat hyödynnettävissä olevaa tietoa, mutta siipikairausten luotettavuuden arvioinnissa on huomioitava ennen 1970-luvun puoliväliä tehty tutkimukset, jolloin siipikairauksissa on useimmiten käytetty momenttiavainta ja saatu todellista lujempia tuloksia (Liikennevirasto 2014, s. 18). Siipikairausten tuloksia käytetään suoraan tiepenkereiden pohjanvahvistustarpeen määrittelyyn, minkä vuoksi tulosten luotettavuus on tärkeää. Siipikairaukseen liittyvää ohjeistusta on täydennetty ja tarkennettu vuonna 2018. (Liikennevirasto ja Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. 2018)

Suunniteltaessa levennystä maanvaraisesti perustetulle nykyiselle tielle tai levennyksen ollessa maanvaraisesti perustettu, selvitetään nykyisen tien alla olevan pohjamaan lujuus- ja painumaominaisuuksien muutosta tekemällä siipikairauksia penkereen alle ja luonnontilaiseen pohjamaahan. Lisäksi tehdään ödometrikokeita penkereen alta ja tarvittaessa luonnontilaisesta maasta sekä selvitetään mahdollisesti tapahtunut pohjaveden muutos. (Liikennevirasto 2014, s. 18)

Tiesuunnitteluvaiheessa tulisi tehdä kaikkia hankkeessa tarvittavia pohjatutkimuslajeja ja rakennussuunnitelmavaiheessa vain täydentää tutkimuksia tarvittavilta osin. Tiesuunnitelmavaiheessa tehdään erityisesti kaikki aikaa vievät tutkimukset, jotta tutkimustulokset ovat hyödynnettävissä pohjarakennusratkaisuja tehdessä. Myös vakavuus- ja painumalaskennat tehdään tiesuunnitelmavaiheessa pohjarakennusratkaisun tueksi. Rakennussuunnitelmavaiheessa tehdään rakennustoimenpiteiden

yksityiskohtaiseen mitoitukseen liittyvät laskelmat, urakoitsijan vaihtoehtoihin liittyvät mitoituslaskelmat sekä hankkeen lopulliseen dokumentointiin liittyvät laskelmat. (Liikennevirasto 2014, s. 63–64)

Rakennussuunnitelmavaiheessa tehdään rakentamisen mahdollistavat yksityiskohtaiset suunnitelmat ja tutkimukset. Tierakenne tulee suunnitella kokonaisuutena, jotta rakenne pystyy ottamaan vastaan liikenteen ja ympäristön sille aiheuttamat kuormitukset. Tierakenne tulee suunnitella niin, että se kestää toistuvien liikennekuormien aiheuttamia kuormitus- ja kulutusrasituksia, rakenne rajoittaa ja tasaa tien alusrakenteen routimisen aiheuttamat routanousut ja kantavuuden vaihtelut, rakenne kestää lämpötilavaihtelun aiheuttamat termiset kuormitukset sekä kosteuden aiheuttamat rakennemateriaalien kantavuusvaihtelut. Tyypillisesti tierakenne ei vaurioidu äkillisesti kuormitusten alla, vaan vauriot syntyvät vähitellen toistuvien kuormitusten vaikutuksesta. (Ehrola 1996, s. 134)

Rakennussuunnitelmavaiheessa tehtävien pohjatutkimusten suositellut määrät on esitetty kuvassa 7 Liikenneviraston ohjeen Geotekniset tutkimukset ja mittaukset mukaan. Tutkimuksia on tehtävä niin kattavasti, että suunnittelu voidaan tehdä rakentamisen edellyttämällä tarkkuudella. Tässäkin vaiheessa tutkimuspisteväliä voidaan tihentää tai harventaa pohjasuhteiden muutosten mukaan. (Liikennevirasto 2015, s. 50–52)

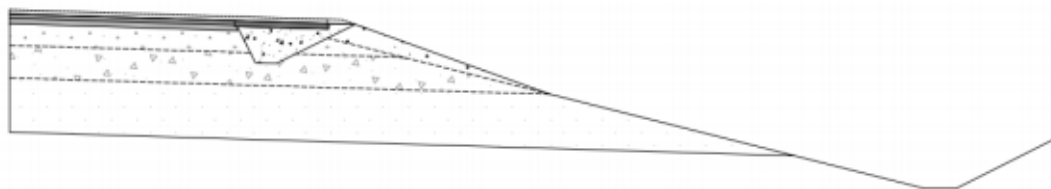
Kohde	Selvitettävä ominaisuus	Tutkimus- pisteiden väli linjan pituus- suunnassa ⁽¹⁾	Tutkimuspisteiden lukumäärä ja piste- välin maksimiarvo poikkileikkauksessa ⁽²⁾
Pohjaolosuhteet linjalla			
Tutkimukset kaikissa olosuhteissa	Maakerrokset, pohjamaan lujuus- ja painumaominais- suudet, routivuus, pohjavesi, kalliopinta	20 m	2...5 kpl 25 m
Rakenteiden tutkimukset			
Pohjarakenteet	Rakenteen rajakohdat ⁽³⁾ , suunnittelu- parametrit ⁽⁴⁾	10...20 m	2...5 kpl
Siltapaikat ⁽⁵⁾	Maakerrokset, pohjavesi, kalliopinta		2...5 kpl / tukilinja
Rummut (nykyinen tie tai rata)	Maakerrokset, täytön alapinta, kivisyys, kalliopinta		2...4 kpl / rumpu
Nykyiset rakenteet ja penkereet ⁽⁶⁾	Päällysrakenne, perustamistapa	20...40 m	1...3 kpl
Erikoistutkimukset			
Teräs- ja betonirakenteet	Maaperän ja kallioperän ⁽⁷⁾ aggressiivisuus, korroosio	2...3 kpl / kohde	
Syvästabilointi	Stabiloituvuus	2...3 kpl / kohde	
Kaivu- ja leikkausmassat	Sulfidisavet	2...3 kpl / kohde	
Tunnelit			
Tunnelin otsan tarkka sijainti	Kalliopinnan korkeusasema	Pisteväli kalliokaton paksuus	≤ 3...5 kpl 5 m

Kuva 7. Rakennussuunnitelmavaiheessa tehtävien pohjatutkimusten suositellut määrät (Liikennevirasto 2015, s. 52)

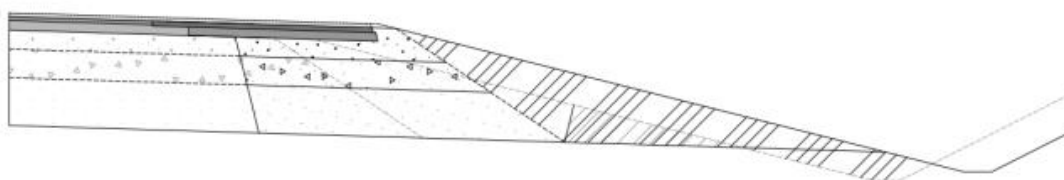
2.3 Toteutus

Tien leventämisen perustapauksia voidaan ajatella olevan tien vähäinen leventäminen tiehöylällä luiskaa jyrkentämällä (Kuva 8) tai suurempi leventäminen kaivamalla ja rakentamalla uudet nykyisen tien rakennekerrosten mukaiset rakennekerrokset (Kuva 9). Vähäisessä leventämisessä ei yleensä ole tarvetta tiesuunnitelman mukaisille

suunnitelmille tiealueen pysyessä nykyisellä paikallaan. Suuremmassa leventämisessä levennyksosan rakennekerroksista tehdään nykyisiä rakennekerroksia vastaavat kuormituskestävyyden ja routamitoituksen suhteen sekä esimerkiksi ojan sijainti voi muuttua ja vaikuttaa tiealueen laajuuteen, jolloin leventäminen tulee suunnitella tiesuunnitelmavaiheen mukaisesti. (Liikennevirasto 2018a, s. 111–112)



Kuva 8. Tien vähäisen, alle 0,75 leveän leventämisen perustapaus (Liikennevirasto 2018a, s. 111)



Kuva 9. Tien yli 0,75 m leveän leventämisen perustapaus (Liikennevirasto 2018a, s. 112)

Vähäisessä, yleensä päällystysurakan yhteydessä tehtävässä enintään 0,75 m leveässä leventämisessä luiskaa jyrkentämällä tiehöylällä levitetään nykyisen tien kerrosmateriaaleja luiskaan ja syntyvä vako täytetään kantavan kerroksen materiaalilla. Kantavan kerroksen materiaalin ja luiskaan levitetyn nykyisen tien kerrosmateriaalit tiivistetään samalla kertaa sekä luiskasta poistetaan orgaaniset kerrokset. Suuremmissa, yli 0,75 m leveissä levennyksissä nykyisen tien viereen kaivetaan tila levennyksen rakennekerroksille, jotka rakennetaan nykyistä rakennetta vastaaviksi. Leventämistekniikan valintaan ja leventämisen suuruuteen vaikuttaa myös se, onko parannettava tie rakennettu vai rakentamaton. Rakennetun tien rakennekerrokset voidaan olettaa olevan tasalaatuisia ja routimattomia, kun taas rakentamattoman kertaalleen parannetun tien rakennekerrokset voivat olla routivia ja kerrospaksuuksissa eroja. (Liikennevirasto 2018a, s. 111–112)

Rakennetun tien leventäminen voidaan toteuttaa kaivamalla. Kaivamalla tehtävässä tien leventämisessä routiva luiskatäyte poistetaan, rakenne leikataan pohjamaahan saakka

lähes pystysuoraan nykyisen päällysteen reunan kohdalta tai jos tiellä on reunapainumaa, sisemmältä ajoradan kohdalta. Päällyste leikataan 0,3–0,5 m muun rakenteen leikkauskohtaa sisempää. Uudet rakennekerrokset rakennetaan nykyistä rakennetta vastaavista materiaaleista ja oja täytetään tiivistämiskelpoisella, kuivalla, pohjamaata vastaavalla materiaalilla sekä uusi oja kaivetaan kuivatuksen edellyttämälle tasolle, vähintään nykyisen ojan tasolle. (Tiehallinto 2005, s. 76) Suodatinkerroksen rakentamisessa kalusto on valittava ja työ toteutettava niin, että suodatinkerroksen sekoittuminen pohjamaahan voidaan estää eikä pohjamaahan muodostu painumia ja uria (InfraRYL 2020b).

Kertaalleen parannetun rakennetun tien leventäminen voidaan myös tehdä kaivamalla, mikä kuitenkin eroaa rakennetun tien leventämisestä nykyisen tien leikkauksen ja uusien kerrosten rakentamisen osalta. Kertaalleen parannetun rakennetun tien leventämisessä routiva luiskatäyte poistetaan ja nykyistä rakennetta leikataan lähes pystysuoraan niin pitkälle ajoradan puolelle, että pohjamaata ei ole nousseena kerroksiin. Levennyksen rakennekerrokset rakennetaan mahdollisimman hyvin nykyistä rakennetta vastaavista materiaaleista. Alaosassa voidaan käyttää leikkausmassoja tai moreenia vanhan soratien kerrosten verran. Oja täytetään tiivistämiskelpoisella, kuivalla, pohjamaata vastaavalla materiaalilla, syvien ojien luiskat luiskataan kaltevuuteen 1:4 ja uusi oja rakennetaan kuivatuksen edellyttämälle tasolle, kuitenkin vähintään nykyisen ojan tasolle. Sivukaltevuus saadaan oikeaksi ja rakenne poikkileikkaussuunnassa yhtenäisemmäksi nykyisen tien yläosan sekoitusjyrsinnällä tai koko tien levyisellä bitumistabiloinnilla. (Tiehallinto 2005, s. 77)

Levennysosan laadun mittaaminen ja laadunvarmistus noudattaa tien rakentamisen ohjeistuksia ja määräyksiä. Levennysosan toteuman mittaus ja laadunvalvonta ovat osa toteutusvaihetta. Sitomattoman kantavan kerroksen suositeltavat tiivistämistyön laaduntarkkailumenetelmät ovat levykuormitus- ja pudotuspainolaite sekä mittaava jyvä ja pistemäiset varmistusmittaukset. Tiivistystyön laatu varmistetaan tiiveysastemittauksilla 150 m välein tai tiiviysuhdemittauksilla 100 m välein kultakin ajokaistalta ja yli 1,5 m pientareilta. Rakenteen kantavuus mitataan noin 100 m välein kantavan kerroksen päältä, jos mittauksia ei ole tehty jakavan kerroksen päältä. Kantavuuden jäädessä mitoitusta heikommaksi, tarkistetaan tiivistystyö, materiaali, rakennekerroksien paksuus, mitoitus ja mitoituksen lähtötiedot, joiden perusteella tehdään korjaustoimenpiteet. (InfraRYL 2020d)

Valmiista kantavasta kerroksesta otetaan ennen päällystystä tai mahdollisen tasauserroksen tekemistä näyte ylimmästä 150 mm:n kerroksesta kaistoittain jokaiselta 1000 m:n matkalta. Näyte otetaan vähintään 1,5 m etäisyydeltä tiivistettävän kerroksen reunasta tai kerroksen keskeltä kerroksen leveyden ollessa pienempi kuin 1,5 m. Näytteenoton ensimmäisen pisteen paalulukema määritetään viikonpäivään perustuen siten, että maanantaina ensimmäinen näyte otetaan 20 m päästä tutkittavan osuuden alusta, tiistaina 40 m päästä tutkittavan osuuden alusta ja niin edelleen siten, että sunnuntaina ensimmäinen näyte otetaan 140 m päästä tutkittavan osuuden alusta, minkä jälkeen näytteenotto jatkuu 200 m välein. Näytteitä otetaan 200 m välein, kuitenkin vähintään 3 kpl / tieosuus tai kohteen kokonaispituuden ollessa vähemmän kuin 600 m, näytteenottoväli on 1/3 kohteen kokonaispituudesta. Näytteet edustavat koko ajorataa, kun koko ajoradan tiivistys on tehty kerralla, mutta jos ajokaistat tiivistetään erikseen, kuten levennysrakenteet, otetaan näytteet molemmista ajokaistoista. (InfraRYL 2020d)

2.4 Pohjanvahvistusmenetelmät

Tien leventäminen pehmeikköalueilla vaatii aina asianmukaisen geoteknisen suunnittelun. Geoteknisellä suunnittelulla varmistetaan pehmeiköllä levennyksen riittävä varmuus sekä painuvalla pohjamaalla levennyksen ja nykyisen tien välisen painumaeron pysyminen sallituissa rajoissa. (Liikennevirasto 2018a, s. 113) Levennys on rakennettava vastaamaan nykyisen tien rakenteita ja vaatii aina tarkastelun leventämisen vaikutuksista pohjanvahvistuksiin ja pohjarakenteisiin. Tien poikkisuuntainen perustamistavan vaihtaminen on harvoin perusteltavissa. (Tiehallinto 2005, s. 79)

Pehmeikköalueille rakennettaessa olosuhteisiin nähden suuret maarakenteista aiheutuvat kuormat voivat muodostua ongelmiksi rakenteen pitkäaikaistoimintaa tarkasteltaessa. Rakenteet voivat aiheuttaa suuria painumia, alhaista penkereen tai alueen vakavuutta, maanpaineen aiheuttamaa haitallista kuormaa muihin alueen rakenteisiin sekä haitallisia pohjamaan liikkeitä. Nykyisin yhä useammin joudutaan rakentamaan pohjanvahvistusta vaativille pehmeikköalueille sekä nostamaan rakenteen tasausta tulva- ja merenpinnan nousuun varautumiseksi. Pohjanvahvistusmenetelmillä lujitetaan pohjamaata tai kohdistetaan rakenteesta aiheutuvat kuormat kovaan pohjamaahan. Rakenteen keventämisellä voidaan parantaa pohjamaan vakavuutta, pienentää painumia ja maan liikkeitä. (Liikennevirasto 2011a, s. 10)

Pohjanvahvistusmenetelmän valintaan vaikuttavat myös ympäristöön vaikuttavien tekijöiden selvittäminen. Ympäristövaikutukset otetaan huomioon tutkimusten ohjelmointivaiheessa tapauskohtaisesti ulottamalla tutkimuspoikkileikkaukset lähettyvillä oleviin rakennuksiin tai rakenteisiin asti, sijoittamalla pohjavesiputkia ja näytepisteitä myös tiealueen ulkopuolella olevien rakennusten ja rakenteiden viereen, jos pohjaveden pinnan aleneminen voi aiheuttaa riskejä, tutkimalla arkistoista tai arvioimalla silmämääräisesti rakenteiden tai rakennusten perustamistapa, -taso, kunto ja tyyppi, selvittämällä pohjavesisuojausten tarve, paineellisen pohjaveden mahdollinen esiintyminen ja mahdolliset luonnonsuojelulliset rajoitukset pohjanvahvistusmenetelmille. (Liikennevirasto 2014, s. 19)

Pehmeikölle tehtävässä levennyksessä toimenpiteet ovat erilaisia leventämistapauksesta riippuen. Leventämistapauksissa nykyisen tien pohjanvahvistukset tai muut pohjarakenteet voivat olla riittävän leveitä myös levennystä varten tai niitä levennetään, tai nykyistä maanvaraista tietä levennetään pohjanvahvistuksia käyttäen tai ilman pohjanvahvistustoimenpiteitä. (Tiehallinto 2005, s. 79)

Levennyksen perustamistavan valintaan voi merkittävästi vaikuttaa tulevien rakenteiden painumien vaikutus tien kallistuksiin, minkä vuoksi suunnitteluvaiheessa tarkastellaan tien nykyiset sivukallistukset ja niiden mahdolliset muuttamistarpeet, levennysosan sivukallistukset sekä mahdollisten painumien vaikutus sivukallistuksiin. Suunnittelussa on tarvittaessa tarkasteltava myös tien kokonaisviettokaltevuudet pintakuivatuksen varmistamiseksi. Tarpeen vaatiessa levennysosan sivukallistukset voidaan tehdä tavoitearvoa hieman suurempina tai pienempinä epäedullisimman painumaepätasaisuuden sijoittumiskohdan mukaan. (Liikennevirasto 2014, s. 38)

2.4.1 Maanvarainen penger ja vastapenger

Pohjamaan vakavuus- ja painumakriteerien täytyessä tie voidaan perustaa ilman erikoistoimenpiteitä maanvaraisena penkereenä pohjamaan päälle. Penkereen vakavuuden ollessa lähellä riittävää arvoa voidaan pohjamaan vakavuutta parantaa vastapainona toimivalla vastapenkereellä. Maanvaraisen penkereen käyttövaiheen aikaisia painumia voidaan pienentää esikuormituksella. (Liikennevirasto 2014, s. 39)

Penkereen materiaali voi olla tiivistettävissä olevaa luonnon kiviainesta, kalliokiviainesta tai soveltuvaa uusiomateriaalia. Alusrakenneluokkaan G tai J kuuluvalla pengeralustalla

rakennetaan enintään siirtymäkiilasyvyys + 0,2 m korkeiden maapenkereiden alle suodatinkerros tai asennetaan suodatinkangas estämään penkereen ja pohjamaan materiaalien sekoittuminen. Tapauskohtaisesti korkeilla penkereillä voidaan pengerpohja jättää raivaamatta. Tien päällysrakenteen mitoitukseen vaikuttavat maapenkereen korkeus, materiaalin laatu ja kosteustila. (Rakennustieto Oy 2020a)

Penkereen suunnitteluvaiheessa suunnitellaan kohteesta riippuen painumien, siirtymien sekä huokosvedenpaineen seurantamittaukset sekä ohjeet tulosten käsittelyyn ja tulkintaan. Rakennusaikana asennetaan seurantamittausjärjestelmä, jolla voidaan varmistaa pengerryksen suunniteltu toiminta ja työnaikainen vakavuus. (Liikennevirasto 2010a, s. 50)

Maanvaraisen penkereen leventäminen maanvaraisella pengerrakenteella edellyttää nykyisen penkereen painumatilan selvittämistä. Selvittäminen kannattaa aloittaa useita vuosia ennen suunnittelun aloittamista. Hyvään tarkkuuteen mittauksissa päästään käyttämällä tiehen kiinnitettyjä painumanastoja, mutta vaihtoehtoisia menetelmiä, kuten laserkeilaus, on myös kehitteillä. Saatujen painumatulosten avulla lasketaan poikkisuuntaiset nykyisen ja uuden penkereen painumaerot sekä tarkistetaan painumien vaikutus sivukaltevuuksien muutoksiin. Sivukaltevuuksien muutokseen voidaan vaikuttaa suunnitteluvaiheessa suunnittelemalla sivukallistukset tavoitearvoa suuremmiksi tai pienemmiksi. (Liikennevirasto 2014, s. 39)

Painumalaskelmiin liittyy paljon epävarmuuksia uuden levennyksen ja nykyisen penkereen pohjamaiden konsolidoituessa eri tavalla, joten laskentatuloksia tulee tarkastella kriittisesti. Usein oletetaan nykyisen penkereen painumien jo tapahtuneen, jolloin painumattomaksi tai lähes painumattomaksi perustettu levitysrakenne johtaa haitallisiin painumaeroihin. (Liikennevirasto 2014, s. 39)

2.4.2 Massanvaihdolle perustettu penger ja pohjaantäyttö

Massanvaihdossa pehmeä ja huonosti kantava tai kokoonpuristuva pohjamaa korvataan kantavalla täyttömateriaalilla. Massanvaihtomenetelmiä ovat massanvaihto kaivamalla tai massanvaihto pengertämällä eli pohjaantäyttö. Massanvaihto voidaan tehdä myös osittaisena massanvaihtona, jolloin pehmeää pohjamaata poistetaan ja korvataan kantavalla materiaalilla sellaiseen syvyyteen, missä tiepenkereen vakavuus on riittävä ja painumat sallituissa rajoissa. Menetelmän valintaan ja suunnitteluun vaikuttavat mm.

hankkeen massatalous, massanvaihdosta aiheutuvat ympäristövaikutukset, työturvallisuus, pehmeikön paksuus, penkereen leveys ja korkeus, pohjamaan ominaisuudet, maaston topografia sekä ympäristössä sijaitsevat rakenteet. Lisäksi suunnittelussa on huomioita massanvaihtoon rajautuvat muut pohjanvahvistusmenetelmät. (Liikennevirasto 2011b, s. 10)

Kaivamalla tehtävässä massanvaihdossa pehmeät maakerrokset poistetaan kaivamalla kovaan pohjaan tai määräsyyvyteen saakka. Menetelmä sopii hyvin matalille, noin 3–5 m syville savipehmeikölle sekä matalille soille, joissa kova tai riittävän kova pohja on heti turpeen alla. Syvimmillään kaivamalla tehtävällä massanvaihdolla voidaan päästä lähes 10 m syvyyteen. Kaivamalla tehtävää massanvaihtoa voidaan käyttää myös herkästi vaurioituvien rakenteiden läheisyydessä sekä paalutettujen alueiden päissä paalupituuksien jäädessä lyhyiksi. (Liikennevirasto 2011b, s. 10–11)

Massanvaihtokaivannon lopullinen kaivutaso määräytyy työaikaisten havaintojen perusteella ja toteutunut täyttö kirjataan suunnitelma-asiakirjoihin. Massanvaihtokaivannon leveys määräytyy penkereen leveyden, maaperän sensitiivisyyden ja leikkauslujuuden mukaan. Tavallinen luiskakaltevuus massanvaihtokaivannossa on 2:1–1:1. Täyttö tehdään yleensä luonnollisen maanpinnan tasoon päätypenkereenä. Yleisin täyttömateriaali on louhe, mutta myös muita kitkamaalajeja, kuten soraa, hiekkamoreenia, hiekkaa tai karkeampia materiaaleja voidaan käyttää. Täyttömateriaali voi olla myös osa rakennekerroksia. Sivukaltevalla pohjamaalla tai savikerroksen peittämällä kalliolla on suositeltavaa tehdä täyttö louheella kaivannon pohjan tasolle. Kaivamalla tehtävän massanvaihdon täyttö voidaan tiivistää kerroksittain, jos ei ole vaaraa kaivannon reunojen sortumisesta. Kaivamalla tehtävässä massanvaihdossa on kiinnitettävä huomiota työolosuhteisiin ja työturvallisuuteen, erityisesti syviä massanvaihtoja tehtäessä. (Liikennevirasto 2011b, s. 17)

Pengertämällä tehtävää massanvaihtoa käytetään pehmeikön ollessa niin syvä, ettei kaivamalla tehtävä massanvaihto onnistu. Tavallisesti pohjaantäyttösyvyydet ovat olleet 5–10 m, mutta pehmeissä savissa esipehennystä käyttäen on onnistuttu tekemään lähes 20 m syvyisiä pohjaantäyttöjä. Alkukaivannosta poistetaan pohjaantäyttöä vaikeuttava pintakerros ja pengertämisen aikana kaivetaan pois eteen ja sivulle nousseita massoja. Tierakenteen yhteydessä massanvaihtomateriaalina käytetään louhetta tai karkeaa kitkamaata. Maapohjaa tulee kuormittaa vähintään murtotilakuormituksella

pengerrystyön onnistumiseksi. Pohjaantäyttöä ei yleensä tiivistetä, vaan penger tiivistyy työn aikana sen päällä liikkuvien koneiden ja maansiirtoaikojen vaikutuksesta sekä rakentamisen jälkeen penkereen omasta painosta. (Liikennevirasto 2011b, s. 11)

Yleensä massanvaihtoja ei tiivistetä koneellisesti, vaan täyttöjen annetaan tiivistyä työn aikana sekä rakentamisen jälkeen. Riittävä painuma-aika ja esikuormituspenger tehostavat tiivistymistä. Joissakin tapauksissa, kuten massanvaihdon liittyessä muihin rakenteisiin, massanvaihdon jälkitiivistäminen on mahdollista. Mikäli louhepenkereen yläpuolelle tulevat rakennekerrokset ovat pienempirakeista kuin massanvaihdon täyttö, louhepenkereen pinta kiilataan routimattomalla murskeella tulevien rakennekerrosten valumisen estämiseksi penkereen väleihin. Kiilausmateriaalin rakeisuus riippuu penkereessä käytetyn louhe- tai mursketäytön lohkarakoista tai rakeisuudesta. Syvissä massanvaihdossa ympäristövaikutukset voivat olla merkittäviä, jolloin suunnitteluun on kiinnitettävä erityistä huomiota. Massanvaihdon aikana seurataan materiaalimenekkiä. Massanvaihtopenkereiden painumien seuranta ja käytettävä menetelmä riippuvat vallitsevista olosuhteista, kohteesta ja tarkkailujakson pituudesta. Painumia voidaan seurata painumatarkistimien, painumaletkujen tai vaaitusten avulla. (Liikennevirasto 2011b, s. 16)

Massanvaihdolle perustetun penkereen leventäminen tehdään yleensä massanvaihdolla, etenkin nykyisen kaivamalla tehdyn massanvaihdon ulottuessa kovaan pohjamaahan saakka (Liikennevirasto 2014). Tapauskohtaisesti leventämisessä voidaan myös käyttää pohjaantäyttöä. Etenkin alempiluokkaisilla teillä levennyksiä on tehty myös reunamassanvaihtona, jolloin tietä levennetään tai korotetaan tekemällä levennysosille massanvaihto tai osittainen massanvaihto esimerkiksi levennysosan sijoituessa turpeikon päälle ja turpeen ulottuessa nykyisen tierakenteen alle, josta sitä poistetaan. Reunamassanvaihto vaatii tarkkaa harkintaa ja nykyisen tien painumakäyttäytymisen seuraamista erityisesti tien poikkisuunnassa. (Liikennevirasto 2011b, s. 31)

Pientä levennystä tehtäessä tarkastellaan, onko nykyisen pohjaantäytön leveys riittävän suuri levennyksen toteuttamiseen ilman erikoistoimenpiteitä tai esimerkiksi käyttäen pengerkevennystä tai esikuormitusta. Suurempien levitysrakenteiden kohdalla pohjaantäytön leventäminen voi olla haasteellista varsinkin kapeahkoilla pohjaantäytöillä tai ympäristösyistä. (Liikennevirasto 2014, s. 42) Myös liikenneturvallisuuden ja stabiiliteetin varmistaminen voivat poissulkea massanvaihdon leventämismenetelmänä.

Nykyisen tien vakavuus voidaan turvata lyömällä ponttiseinä nykyisen penkereen laitaan, kaivamalla lamelleittain tai siirtämällä liikenne työnaikaiselle kiertotielle. Pohjaantäytön aikana tulee varmistaa, että maan syrjäytyminen ei aiheuta vaurioita nykyiselle tielle. Jos suunnitteluvaiheessa tiedetään suunniteltavalle massanvaihtoalueelle tulevista lisälevennyksistä, voidaan massanvaihto tarvittaessa ulottaa jo ensimmäisessä vaiheessa tulevien kaistojen alueelle. (Liikennevirasto 2011b, s. 31) Massanvaihdolla tehtävän levennyksen työnaikaisten tilanteiden stabiliteetti on aina tarkasteltava sekä tarkistettava massanvaihdon painumattomuus myös jatkossa (Liikennevirasto 2014, s. 42).

3 Tien levennysosan ja nykyisen tien väliset saumahalkeamat

Tiessä oleva halkeama on aina epäjatkuvuuskohta, jonka kohdalla liikennekuormituksen aiheuttama rasitus on suurempi kuin muualla tiessä. Halkeamat ulottuvat usein myös syvälle tierakenteeseen, mikä kasvattaa liikennekuormitusten aiheuttamia kriittisiä rasituksia tierakenteessa sekä heikentää rakenteen rasitusten sietokykyä kosteuden ja mahdollisesti hienoaineksen päästessä tierakenteeseen (Kuva 10). Rakenteeseen päässyt kosteus taas aiheuttaa talvella saumahalkeaman reunojen nousua ja kesällä painumista muuta tietä alemmalle tasolle, mikä taas kasvattaa liikennekuormituksen aiheuttamia rasituksia ja nopeuttaa tien vaurioitumista. (Tiehallinto 2002a, s. 64–66)



Kuva 10. Tien pituussuuntainen halkeama sekä painumaa levennysosalla (Konttinen 2021)

Epätasainen kohta tiessä aiheuttaa myös liikkuvan ajoneuvon pystysuuntaisesta liikkeestä johtuvia dynaamisia lisäkuormia. Dynaamisten kuormien kasvu nopeuttaa päällysteen väsymistä ja pysyvien muodonmuutosten kehittymistä eri rakennekerroksissa ja alusrakenteessa. Esimerkiksi tien urautuminen on pysyvä muodonmuutos ja voi edesauttaa kosteuden pääsyä tierakenteeseen, jolloin sitomattomien kerrosten ja sitä kautta koko tierakenteen sietokyky rasituksia vastaan alenee ja erityyppisten vaurioiden muodostuminen nopeutuu. (Tiehallinto 2002a, s. 64–66)

Ainoastaan tien leventämistä koskevia tutkimuksia Suomessa ei ole tehty Roadexin tekemää tutkimusta lukuun ottamatta. Julkaisuja, joissa käsitellään teräsverkoilla tai geovahvisteilla vahvistettujen levennysten suunnittelua ja rakentamista sekä tutkitaan kyseisiä koerakenteita, löytyy Suomesta (Väylävirasto 2019, Tiehallinto 2009, Tiehallinto 2001). Muualla maailmalla, kuten Australiassa, on ohjeistuksia (Austroads 2020) tien leventämisrakenteiden suunnitteluun ja rakentamiseen. Niissä ei kuitenkaan oteta huomioon Suomen ilmastoon kuuluvan pakkasen aiheuttamaa maan routimista. Tierakenteen parantamiseen ja kunnon analysoimiseen liittyviä tutkimuksia on tehty Suomessa, esimerkkinä Tiehallinnon Tierakenteiden tutkimusohjelman S4 TPPT-projekti, jossa pyrittiin kehittämään taloudellisia tierakenteita, vaihtoehtoisia materiaaleja ja rakenteiden suunnittelua vuosien 1994–2001 välisenä aikana (Tiehallinto 2002b).

Roadex on tehnyt aiemmin tutkimusta tien leventämisrakentamisesta. Tutkimuksessa on kartoitettu ja koottu pohjoismaisiin olosuhteisiin sopivien maiden levennysrakentamisen suunnitteluun ja toteutukseen liittyviä ohjeistuksia ja käytäntöjä kirjallisuuskatsauksella ja kyselytutkimuksella (Tikkanen 2010) sekä tutkimalla levennettyjen teiden levennysrakenteiden saumahalkeamien muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä koeteillä (Saarenketo & Varin 2013) vuosien 1998–2001 aikana.

Kirjallisuuskatsauksessa oli perehdytty ja vertailtu Suomen, Grönlannin, Islannin, Irlannin, Norjan, Skotlannin ja Ruotsin levennysrakenteiden suunnittelun ja rakentamisen ohjeistuksia. Kyselytutkimuksella oli selvitetty Suomen, Islannin, Irlannin, Norjan, Skotlannin ja Ruotsin tien leventämisen ammattilaisten kokemuksia ja mielipiteitä tien leventämisen haasteista ja niiden ratkaisemisesta. Kyselyn perusteella saatujen tulosten mukaan suurin haaste tien leventämisessä on nykyisen tien ja levennysosan yhtenäisen toiminnan varmistaminen. Myös tien leventäminen turvekohdissa oli koettu haasteelliseksi. Kyselyn tuloksista oli saatu koottua yhdeksän eniten vastaajien mielestä

haasteita aiheuttavaa tekijää sekä useita muita vähemmän vastauksia saaneita tekijöitä. (Tikkanen 2010)

Kyselyyn oli saatu 17 vastausta. Kyselyn perusteella levennyssuunnittelun ja -rakentamisen oli todettu sisältävän runsaasti mielipiteitä ja näkökulmia, koska paikalliset olosuhteet olivat vaihtelevia ja siten levennysrakenteet erilaisia. Kyselytutkimuksella saatuja tuloksia oli hyödynnetty koeteiden tutkimuksessa. (Tikkanen 2010) Koetiet ovat sijainneet Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Skotlannissa. Koeteille tehtyjen tutkimusten perusteella tarkennettiin kyselytutkimuksella saatuja tuloksia ja lopputuloksena oli saatu määritettyä yleisimmät tien levennysosan suunnitteluun ja rakentamiseen haasteita aiheuttavat tekijät. (Saarenketo & Varin 2012)

Kirjallisuustutkimuksen ja Roadexin tekemien kenttätutkimusten mukaan tien levennysosan ja nykyisen tien välisen saumahalkeamien muodostumiseen on vaikutusta

- koko tierakenteen kuivatuksella
- levennysosan luiskakaltevuudella
- levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittamisella
- levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittämisellä
- levennysosan ja nykyisen tien epätasaisella routimisella
- levennysosan ja nykyisen tien epätasaisella painumisella
- levennysosan ja nykyisen tien epätasaisilla kerrospaksuuksilla ja materiaaleilla
- levennysosan jälkitiivistymisellä.

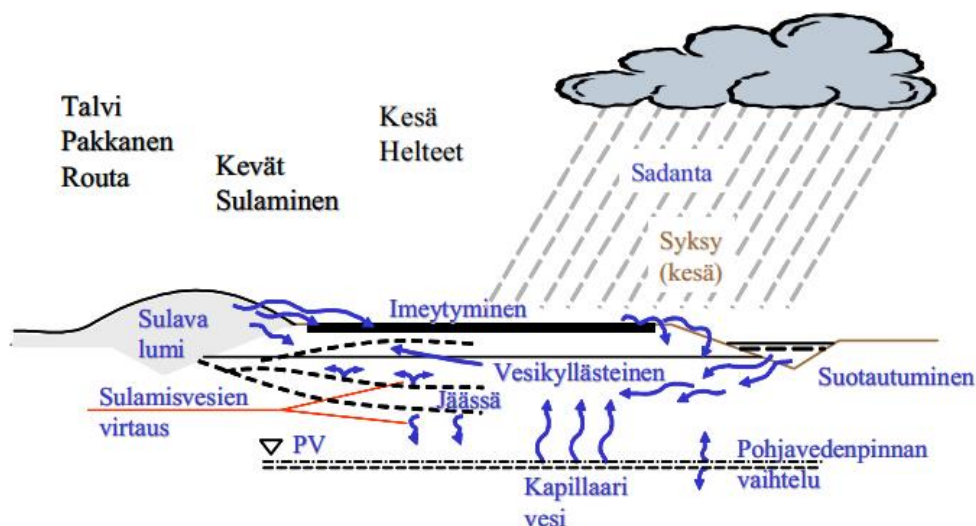
Näistä edellä mainituista tekijöistä Suomen suunnitteluohjeistuksissa tulee esille jälkitiivistyminen, ja muut ovat Roadexin tutkimuksissa ilmi tulleita tekijöitä. Nämä tekijät muodostavat haastattelututkimuksen teemat. Seuraavaksi selvitetään tarkemmin, miten edellä mainitut tekijät voivat vaikuttaa tien levennysosan ja nykyisen tien saumahalkeaman muodostumiseen sekä käydään läpi kyseiseen tekijään liittyviä suunnitteluohjeistuksia.

3.1 Tierakenteen kuivatus

Kuivatuksen toimivuudella on tutkittu olevan vaikutusta nykyisen tien ja levennysosan saumahalkeaman syntymiseen. Puutteet tien kuivatuksessa voivat heikentää tien

rakennetta ja heikentää tierakenteen kantavuutta etenkin tien reunoissa. Tien poikkisuuntainen epätasainen kantavuus voi aiheuttaa urautumista tien reunoilla ja levennysosassa, mistä taas voi aiheutua levennysosan sauman halkeaminen. Urautuneissa kohdissa vesi ei pääse valumaan sivuojiin, jolloin urautuminen nopeutuu. Puutteellinen kuivatus aiheuttaa myös tierakenteen epätasaista routimista. (Saarenketo & Varin 2012, s. 9)

Tierakenteen ominaisuuksiin ja kantavuuteen vaikuttaa tierakenteessa olevan veden määrä. Maassa painovoiman vaikutuksesta liikkuva vesi on vapaata vettä. Tierakenteessa vapaan veden määrän lisääntyminen aiheuttaa rakennekerrosten lujuuden alenemista, joten vapaan veden liikkumiseen vaikuttamalla voidaan vaikuttaa tierakenteen kantavuuteen. Tien vesitalous ja vapaan veden määrä seuraa luonnon vesikiertoa. Kuvassa 11 on esitetty tietä kuormittavan veden eri lähteet ja kulkureitit tierakenteeseen. (Ehrola 1996, s. 119–120)



Kuva 11. Veden kulkeutuminen tierakenteeseen (Tiehallinto 2002a, s. 20)

Vaikuttavin tekijä on sadanta, joka on Suomessa osin vettä ja osin lunta. Maan ollessa sulana vesi voi imeytyä suoraan tiehen tai varastoitua ja suotautua tierakenteeseen. Sademäärä ja vuodenaika vaikuttavat pohjavedenpinnan tason korkeuteen ja sitä kautta pohjaveden syvyyteen tierakenteessa sekä tierakenteen vesipitoisuuteen. Pohjavedenpinnan tason korkeuden vaihtelu on suurempaa routivalla hienorakeisella alusrakenteella kuin routimattomalla karkearakeisella alusrakenteella. (Ehrola 1996, s. 119–120)

Tien alusrakenteen laatu vaikuttaa tierakenteeseen kulkeutuvan veden määrään. Routivan alusrakenteen omaavassa tierakenteessa on keväällä runsaasti vettä talvella routimisprosessin aikana muodostuneiden jäälinssien sulaessa ja vapauttaessa routineeseen maahan ylimääräistä vettä sekä talven aikana tien vierustoille kerääntyneen lumen sulaessa aiheuttaen vesien suotovirtauksen tierakenteeseen. Routa alkaa sulamaan lumesta vapaana olevasta ajoradan keskiosasta, jolloin tien rakenteeseen saattaa muodostua kouru, josta roudan sulamisvedet eivät pääse purkautumaan sivuojiin ennen tien laitaosien sulamista. Kevään sulamisvedet ja sulan kauden vedet voivat kulkeutua tierakenteeseen vaurioituneen päällysteen kautta. Myös päällystämätön piennar ja tieluiska ovat veden imeytymisväyliä tierakenteeseen, kuten myös tien sivuojoissa oleva vesi voi suotautua tierakenteeseen luiskan kautta. (Ehrola 1996, s. 121–122)

Veden purkautuminen pois tierakenteesta vaikuttaa kuormitustilanteessa syntyvään tierakenteen huokosvedenpaineen suuruuteen. Liikennekuormitus aiheuttaa vedellä kyllästyttyneeseen tierakenteeseen suuria hydrostaattisia huokosvedenpaineita aiheuttavan liikkuvan paineaallon. Tierakenteessa, joissa kuivatus on toimiva ja ylimääräinen vesi pääsee hallitusti purkautumaan, ei synny kuormitettaessa tehokasta normaalijännitystä ja samalla leikkauslujuutta vähentävää huokosvedenpainetta. Vedellä kyllästetyssä tierakenteessa taas nopeassa kuormituksessa veden aiheuttama huokospaine voi nousta merkittävän suureksi, jolloin tehokas normaalijännitys ja samalla leikkauslujuus pienenevät oleellisesti. Huokosvedenpaineen impulssimainen vaihtelu huonontaa kantavan ja jakavan kerroksen kuormituksen vastaanotto- ja siirtokykyä, suurentaa päällysrakenteen taipumia ja kasvattaa alusrakenteelle siirtyviä kuormituksia suunniteltuja suuremmiksi, mitkä taas johtavat alusrakenteen oletettua suurempiin painumiin ja tien rakenteellisen palvelutason ennenaikaiseen laskemiseen. Myös tierakenteen sisään jätetty sidottu rakennekerros, yleensä vanha päällyste, muodostaa esteen huokosvedenpaineen purkautumiselle, mikä näkyy päällysteen vaurioitumisena. (Ehrola 1996, s. 123)

Tierakenteen sisältämä kosteus vaikuttaa tierakenteen kuormituskestävyyteen. Tierakenteen kuormituskestävyys heikkenee tierakenteen vesipitoisuuden kasvun aiheuttaman tien rakennekerrosten ja alusrakenteen kantavuuden heikkenemisen myötä. Toistuva kuormitus yhdistettynä tierakenteen vesipitoisuuden kasvuun vaurioittaa tierakennetta, mikä näkyy rakennekerroksissa epätasaisina muodonmuutoksina,

painumina, urautumisena ja halkeiluna. Rakennekerrosten vesipitoisuuden kasvu myös kiihdyttää tien rakennekerrosten vaurioitumista. (Ehrola 1996, s. 127–128)

Painumat ja urat alusrakenteen pinnassa vaikuttavat kuivatuksen toimintaan ja lisäävät tulevaisuudessa rakenteiden routimista. Kuormitusten lisääntyessä vedellä kyllästetty alusrakenne pehmenee ja siinä tapahtuu plastisia muodonmuutoksia, jotka voivat aiheuttaa alusrakenteen murtumista. Hieno maa-aines saattaa myös pumppautua alusrakenteesta tien rakennekerrokseen rakenteiden vesipitoisuuden ollessa suuri, jolloin tien rakennekerrosten ominaisuudet heikkenevät. Vesipitoisuuden kasvu tien rakennekerroksissa heikentää myös tierakenteiden luiskien stabiliteettia ja voi aiheuttaa luiskien sortumia. (Ehrola 1996, s. 127–128)

Maarakenteiden kantavuus muodostuu useista eri tekijöistä. Pääosin kantavuus määräytyy maan leikkauslujuuden perusteella, johon vaikuttaa maan tehokas koheesio, kitkakulma ja normaalijännitys. Koheesio muodostuessa rakeita yhteen vetävistä pintavoimista on koheesiopitoisten, hienorakeisten maalajien leikkauslujuus voimakkaasti riippuvainen maan vesipitoisuudesta. Maa-aineksen korkea vesipitoisuus kasvattaa rakeiden ympärillä olevaa vesikerrosta, jolloin vesikerrokseen vaikuttavat pintavoimat pienenevät ja maapartikkelit liikkuvat vapaammin eli koheesio pienenee. Tien alusrakenteen ollessa hienorakeista, huonosti vettä läpäisevää ja kosteuspitoisuuden lähellä kyllästysrajaa, aiheuttaa kuormitus alusrakenteeseen merkittäviä, hitaasti purkautuvia huokosvedenpaineita, jotka taas vaikuttavat alusrakenteen tehokkaaseen jännitykseen ja samalla pienentää leikkauslujuutta. (Ehrola 1996, s. 123)

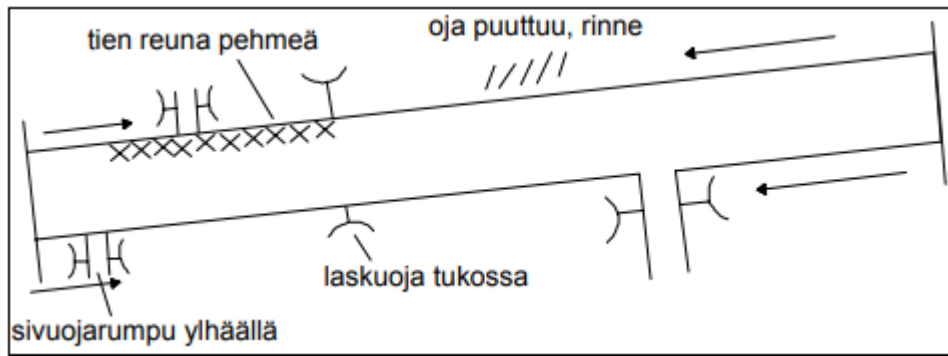
Maan tehokas normaalijännitys määräytyy maan kokonaisjännityksen ja huokosvedenpaineen erotuksesta. Huokosvedenpaine pienentää maan tehokasta jännitystä ja samalla myös maan leikkauslujuutta. Karkeissa kitkamaalajeissa koheesiota ei käytännössä ole ollenkaan, jolloin kitkamaan leikkauslujuus määräytyy tehokkaan normaalijännityksen ja kitkakulman mukaan. Kitkakulma taas määräytyy maalajin tiiveyden, rakeisuuden ja raemuodon mukaan, jolloin maa-aineksen vesipitoisuuden muutos vaikuttaa ainoastaan maan tiiveyteen. Vesipitoisuuden kasvaessa yli optimivesipitoisuuden maan tiiveys pienenee, mikä vastaavasti pienentää maan leikkauslujuutta. Käytännössä kuitenkin vesipitoisuuden muutos ei vaikuta suoranaisesti juurikaan kitkakulman suuruuteen. (Ehrola 1996, s. 122–123)

Maan muodonmuutos- ja kimmo-ominaisuuksiin vaikuttaa maan tehokas jännitys, mihin taas vaikuttaa maan vesipitoisuus. Silttisille tien alusrakenteille tehtyjen levykuormituskokeiden perusteella voidaan todeta vesipitoisuuden lisäyksen laskevan merkittävästi materiaalin kimmomoduulin eli E-moduulin arvoa. Pohjavedenpinnan tasolla on myös todettu olevan vaikutusta hienorakeisen alusrakenteen kimmomoduuliin ja lujuuteen. Pohjavedenpinnan tason ollessa kaukana alusrakenteen pinnasta on alusrakenne kuiva ja kantavuus suurempi kuin pohjavedenpinnan tason ollessa lähellä alusrakennetta, jolloin alusrakenne on märkä ja kantavuus pienempi. Kaukana alusrakenteesta oleva pohjavedenpinnan taso kasvattaa alusrakenteen kapillaarisen veden nousun korkeutta, mikä taas kasvattaa maan tehokasta jännitystä ja samalla maan lujuutta kapillaarivyöhykkeen yläosassa kapillaarivyöhykkeen negatiivisen huokosvedenpaineen ansiosta. (Ehrola 1996, s. 124)

Pohjavedenpinnan taso ei muodosta selkeää rajaa kapillaarivoimien nostaessa vettä pohjavedenpinnan yläpuolella oleviin maan pieniin huokosiin. Kapillaarivyöhykkeessä maan yläosan suuret huokostilat ovat osin tai kokonaan ilman täyttämiä ja maan alaosan huokostilat lähes vedellä kyllästämiä. Kapillaarivyöhykkeessä huokosvesi on negatiivisen paineen alaisena ja pohjavedenpinnan alapuolella hydrostaattisen paineen alaisena, minkä vuoksi pohjavedenpinnan taso määritetään alkavaksi siitä kohdasta, missä hydrostaattinen paine on nolla. Kosteassa, ei-kyllästetyssä kitkamaassa vesi esiintyy huokoskulmavetenä, minkä pintajännityksen vaikutuksesta maarakeet puristuvat toisiaan vasten ja maan lujuus kasvaa. Tämä näennäinen koheesio kuitenkin häviää maan kyllästyessä kokonaan vedellä. (Ehrola 1996, s. 120–121)

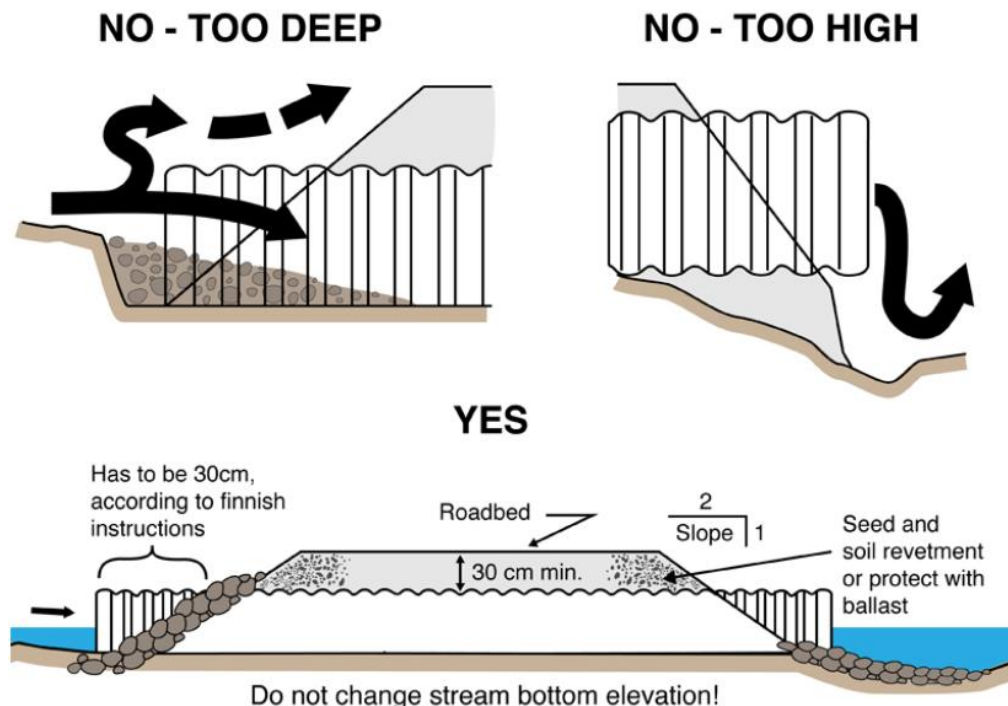
Leventämisosuuksien kuivatusjärjestelmä tulee sovittaa yhteen nykyisen tien kanssa. Vesien virtaamisen on oltava yhtenäistä levennysosan alku- ja loppukohdan ohi nykyiseen rakenteeseen. (Tiehallinto 2005, s. 74) Vesi voi virrata rakenteissa pitkiäkin matkoja ja purkautua hallitsemattomasti, jos vettä läpäisemättömiin luiskatäyttöihin ei ole tehty veden purkautumisaukkoja. Kuivatuksen suunnittelussa on kiinnitettävä huomiota erityisesti veden pituussuuntaisen virtaamisen estämiseen tierungossa. Pituussuuntaisen vedenvirtauksen riskiä kasvattaa esimerkiksi pohjamaasta suotautuvien pohjavesien suuri määrä ja tien pituuskaltevuus. Rakentamisen aikana on tarkistettava kuivatusrakenteiden riittävyys vastaamaan todellisia pohjaolosuhteita, erityisesti on tarkasteltava pohjavesisuhteiden vaikutusta pohjamaahan ja päällysrakenteen materiaalien laatuun. (Liikennevirasto 2010a, s. 50)

Kuivatuksen kunnostamisen suunnittelu tehdään kuivatusketjun inventoinnin perusteella. Inventointi on osa kaikkien parantamishankkeiden lähtötietoja ja se tehdään maastossa tarkistamalla ja kirjaamalla kaikki kuivatukseen vaikuttavat tekijät ja toimenpiteet (Kuva 12). Maastossa tarkistetaan pintavesien pääsy sivuojaan havainnoimalla tien sivukaltevuudet, reunapalteet ja painumat. Sivuoja-vesien kulku vedenjakajalta rummulle varmistetaan havainnoimalla mahdolliset sivuoissa olevat esteet, kuten kivet tai kallio, tarkistamalla sivuojarumpujen kunto, puuttuminen tai sijainti sekä tarkistamalla päätierummun kunto. Syväkuivatuksen tehostamistarvetta tarkastellaan nykyisten ojien sijainnilla ja syvyydellä sekä havainnoimalla mahdollista epätasaista routimista sivukaltevassa maastonkohdassa tai urautumista rinteiden puoleisella tieosuudella. Ojan putkitustarve tarkistetaan tarkastamalla tien luiskakaltevuudet ja havainnoimalla mahdolliset puutteet tien reunakantavuudessa. Lisäksi tarkistetaan uusien päätierumpujen tarve. (Tiehallinto 2005, s. 64) Suunnittelun osana tehdään myös pohjaveden suojauksen tarpeellisuuden määrittäminen (Liikennevirasto 2013c, s. 21).



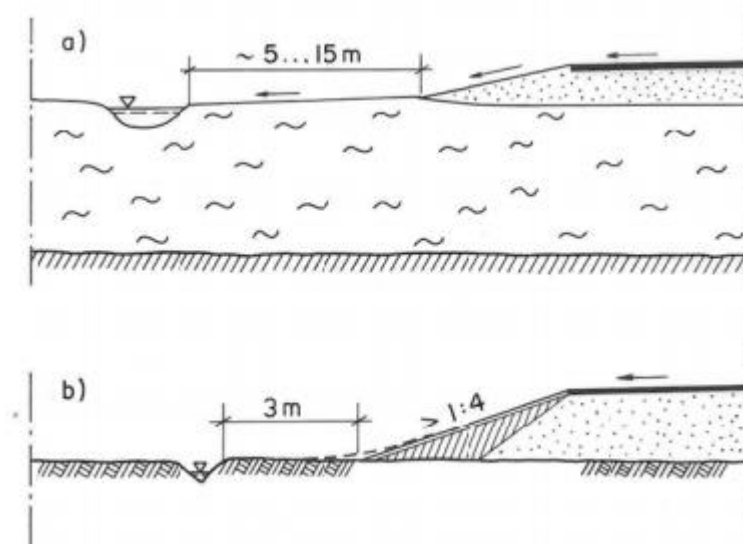
Kuva 12. Esimerkki kuivatusinventoinnista maastossa (Tiehallinto 2005, s. 64)

Ajantasaiset rumputiedot ovat tärkeä osa suunnittelua ja sitä seuraavaa rakentamisvaihetta. Rumpujen osalta tarkistetaan poikkileikkauksen muoto, rummun päiden sijainti, jatkamistarpeet ja -mahdollisuudet, rumpujen ehjyys ja vauriot, mahdollinen epätasainen routiminen rumpupaikalla sekä rummun sijainti suhteessa ympäristöön. (Tiehallinto 2005, s. 64) Rummun tulee olla ympäristöön ja olosuhteisiin nähden sopivan kokoinen ja suojattu tulvimiselta, eroosiolta, huuhtoumilta ja tien kunnossapitokalustolta. Kuvassa 13 on esitetty rummun oikea asennuskorkeus. Pääsääntö rummun asentamisessa on, että luonnon vesiväyliä tulisi muokata mahdollisimman vähän ja virtauksen kaventamista tulisi välttää. Päätierumpujen asennuskohta tulisi suunnitella maaston alimpiin kohtiin. (Roadex Network 2021)



Kuva 13. Rumpujen oikea asennuskorkeus (Roadex Network 2021)

Sivuoista vedet johdetaan laskuojiin. Sivuojat ovat tärkeitä etenkin tien ollessa leikkauksessa, kun taas korkealla penkereellä ei välttämättä sivuoille ole tarvetta. (Roadex Network 2021) Sivuoja sijaitsee yleensä tien ulkoluiskan jatkeena (Kuva 14b), mutta pehmeiköillä ja leikkauksissa se sijoitetaan etäämmälle tien ulkoluiskasta (Kuva 14a) (Liikennevirasto 2013c, s. 54). Sivuojen tarpeellisuus arvioidaan tapauskohtaisesti. Laskuojien avulla vesi johdetaan pois tiealueelta ja puretaan olemassa oleviin luonnon vesistöihin. Puutteet laskuojien kunnossa voivat aiheuttaa merkittäviä ongelmia pitkille tiejaksoille. (Roadex Network 2021) Laskuojien kunto ja kunnostustarve tulee selvittää aina tien parantamishankkeen yhteydessä. Laskuojat sijaitsevat yleensä tiealueen ulkopuolella, minkä vuoksi niiden kunnostustyöt ovat luvanvaraisia ja vaativat maanomistajan suostumuksen. Laskuojien sijaitessa tasaaisessa maastossa tehdään vieton ja perkaustarpeen suunnittelua varten mittauksia. (Tiehallinto 2005, s. 65)

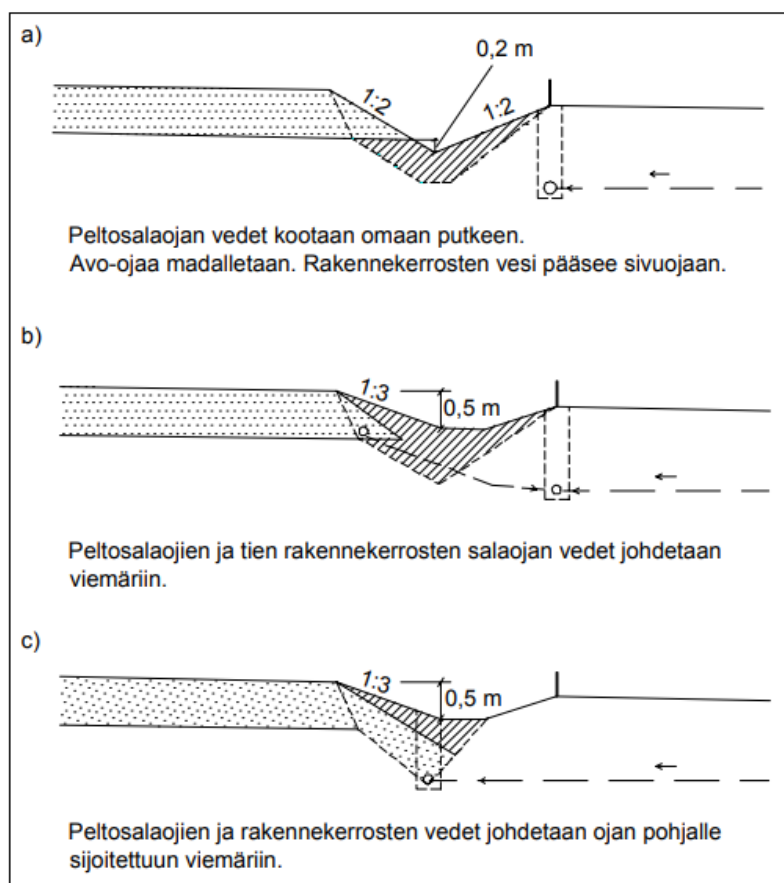


Kuva 14. Tien sivuojan sijoittaminen pehmeiköillä ja leikkauksessa (Liikennevirasto 2013c, s. 54)

Tierakenteen ja kuivatuksen toimivuutta tulee tarkastella kokonaisuutena. Samoin kuin päällysteen kuntoa inventoitaessa tulee kuivatuksen kuntoa tarkasteltaessa tunnistaa, onko tierakenteen huono kunto seurausta kuivatuspuutteista vai esimerkiksi tien heikosta rakenteesta, tai monien seikkojen yhdistelmästä. Tehtävät toimenpiteet tulee suunnitella kuivatuksen inventoinnin tai analyysin perusteella. Pääsääntö on, että veden virtaukselle pois tien pinnasta ja rakenteesta ei ole esteitä, eikä vesi jää seisomaan tien viereen. Veden virtaaminen pois tierakenteesta ja sen vierustoilta on tärkeää, koska syvälläkään avo-ojalla ei kuitenkaan voida estää veden kapillaarista nousua routiviin rakennekerrokseen.

Tämän vuoksi vedenjakajapaikoilla riittää pienempikin oja, jos vesi pääsee tien pituussuunnassa alle 50 m päässä olevaan syvempään ojaan. Vähempi ojan syvyys on riittävä myös vettä läpäisevällä pohjamaalla ja ojan viettokaltevuuden ollessa suuri. (Tiehallinto 2005, s. 66)

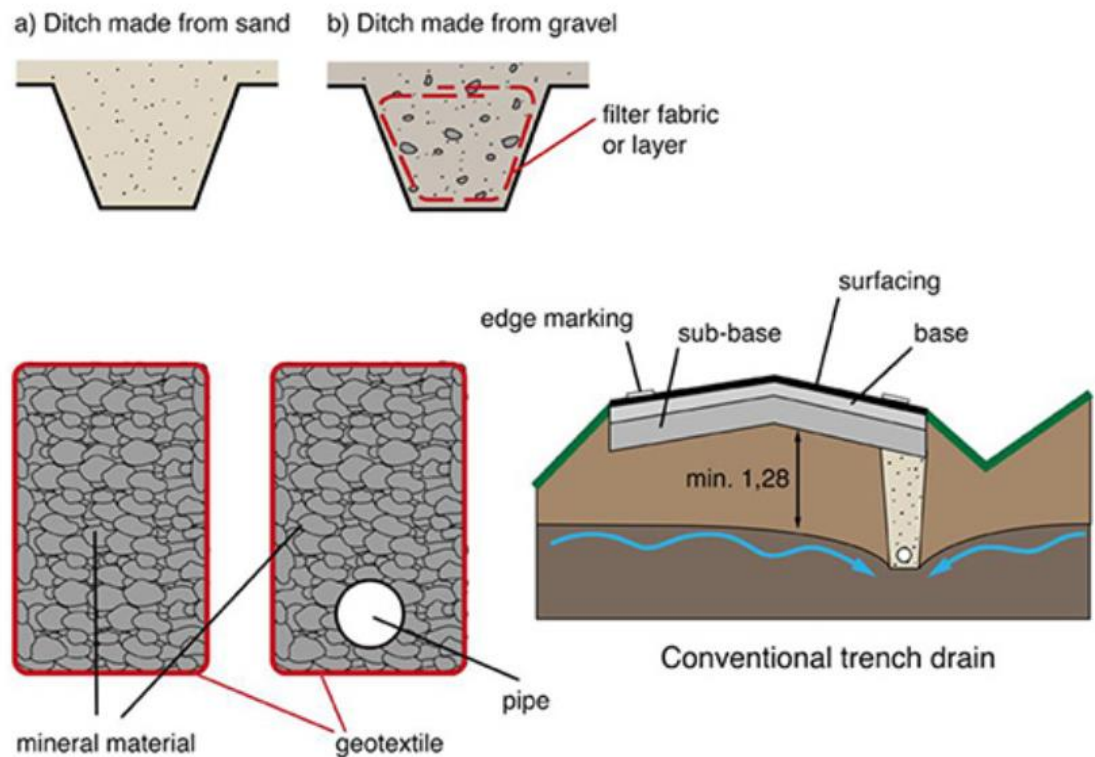
Sivuojan pohja tulee suunnitella niin, että se on noin 20 cm alempana kuin routimattomien tai lievästi routivien tien rakennekerrosten alapinta. Kuivatusjärjestelmässä voi olla myös osuuksia, jotka vaativat ojien syventämistä. Tiealueen lunastaminen ojien syventämistarpeen yhteydessä ei kuitenkaan ole yleistä, jolloin syvien ojien lisäksi haittaa tien turvallisuudelle aiheuttaa syvien ojien aiheuttamat jyrkät luiskat. Syvät ojat heikentävät reunakantavuutta ja turvallisuutta ulosajotilanteissa, rikkovat savikolla kuivakuoren, mistä seuraa tien painumia ja ojien pohjien nousua sekä kapeilla teillä nopeuttavat keskihalkeamien levenemistä. Ojien syventämisen vaihtoehtona tulisin tarkastella ojien putkittamista kuvan 15 mukaisesti. (Tiehallinto 2005, s. 67)



Kuva 15. Eri vaihtoehtoja ojien syventämiselle (Tiehallinto 2005, s. 67)

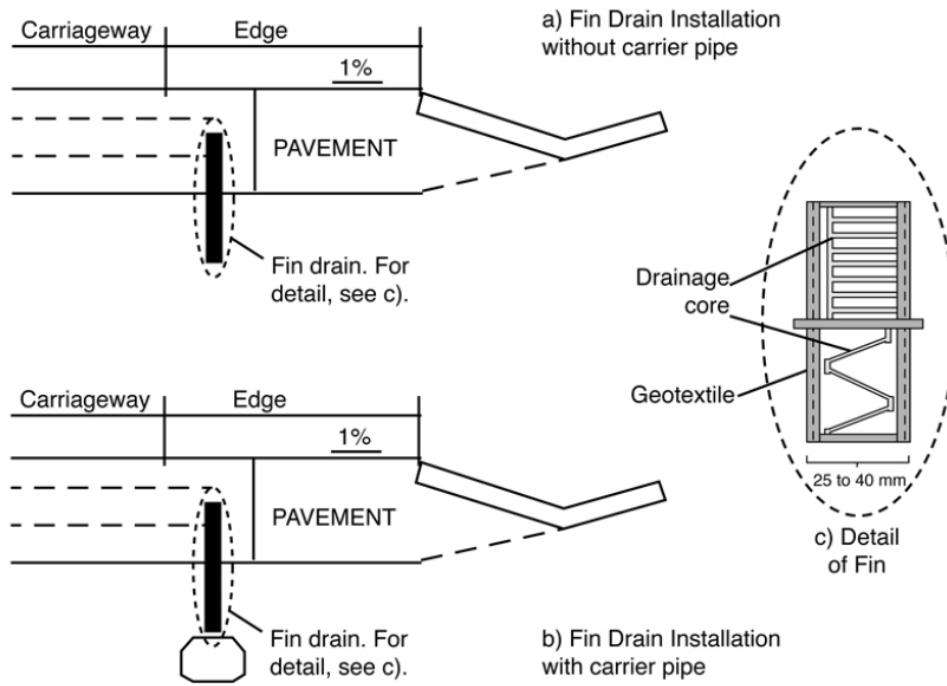
Tierakenne voidaan kuivattaa myös pystysuorilla pinnan alaisilla kuivatusrakenteilla. Pystysuorilla salaojilla alennetaan pohjavedenpintaa ja pidetään tien alla oleva pohjamaa

kuivana kokoavilla salaojilla tai pohjaveden pintaa laskevilla salaojilla. Perinteisen edellä esitetyn ojan putkituksen lisäksi salaoja voidaan tehdä kivisaarto-ojana (Kuva 16), ”Fin drain” – tai ”Californian drain” -tyyppisesti. (Roadex Network 2021)



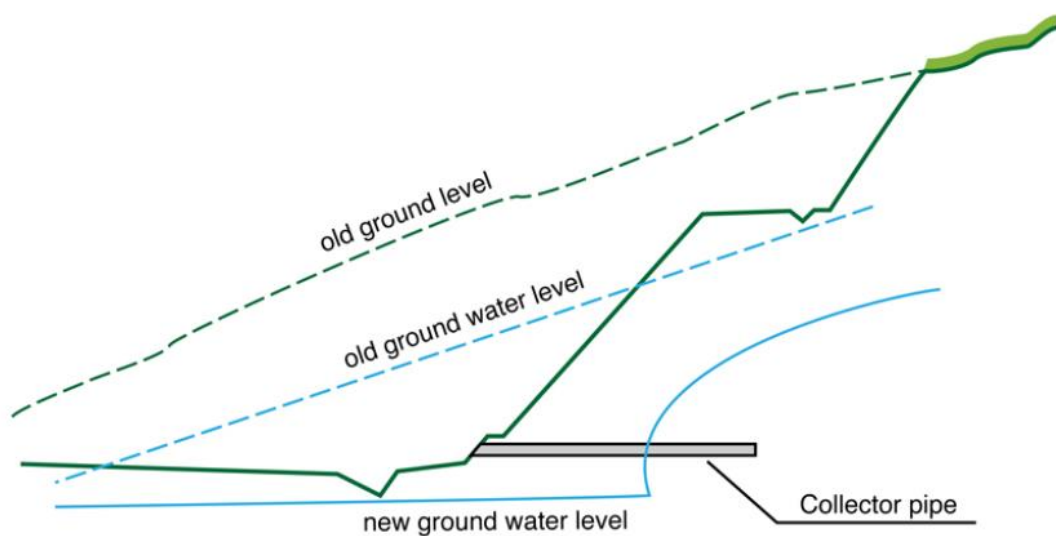
Kuva 16. Kivisaarto-oja ilman putkea ja putkella varustettuna (Roadex Network 2021)

Kivisaarto-oja rakennetaan nykyisen tien reunan alle ja se muodostuu suodatinkankaalla verhoillusta kiviaineksesta sekä tapauskohtaisesti salaojaputkesta. ”Fin drain” -tyyppisessä (Kuva 17) salaojassa tien pitkittäissuuntainen salaojamatto kerää veden tierakenteesta ja ohjaa sen edelleen sivuojiin. (Roadex Network 2021)



Kuva 17. "Fin drain" -pystysalaoja ja sen vaihtoehtoiset asennustavat ilman salaojaputkea ja salaojaputkella varustettuna (Roadex Network 2021)

"Californian drain" -ratkaisussa (Kuva 18) luonnonmaahan tai täyttöön joko pystysuoraan tai vaakasuoraan rinnakkain asennettujen rei'itettyjen tai uurrettujen putkien avulla vähennetään huokosvedenpainetta tai kuivataan vesitaskuja (Roadex Network 2021).



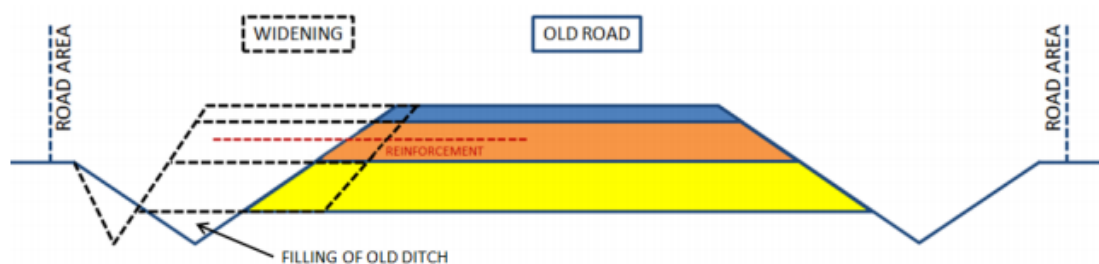
Kuva 18. "Californian drain" -salaojitus (Roadex Network 2021)

Rumpujen kunnostaminen tehdään rumpupaikalla tehtyjen havaintojen perusteella. Rumpupaikan epätasainen routiminen voi olla seurausta rummun perustamistavasta. Rumpukaivannon täyttö on voitu tehdä routimattomalla materiaalilla ilman siirtymäkiilaa, jolloin rummun kohta on talvella muuta tietä alempana, mutta tasoittuu kesällä samaan tasoon tien kanssa. Rumpu voi olla myös perustettu matalalle routivaan pohjamaahan, jolloin kohta vastaavasti nousee talvella ja tasoittuu kesällä. Jos rumpukohdan epätasainen routiminen on haitallista, rummut perustetaan uudelleen ja rakennetaan ohjeistusten mukaiset siirtymäkiilat. Rumpujen jatkamis- ja uusimistarve on myös arvioitava inventoinnin ja suunnittelun yhteydessä. (Tiehallinto 2005, s. 68)

Kuivatusrakenteiden mitoitus tehdään joko kokemusperäisen mitoituksen tai laskennallisen mitoituksen perusteella. Tien leventämisen yhteydessä tehtävä mitoitus on yleensä kokemusperäistä mitoitusta laskennallisen mitoituksen ollessa tarkoitettu lähinnä uusille väylille rakentamattomassa maastossa. Kokemusperäisessä mitoituksessa arvioidaan nykyisten rumpukokojen riittävyyttä nykytilanteeseen ja tulevaisuuden virtaamien muutoksiin. Kuivatusrakenteiden ja -järjestelyjen vaikutuksesta ympäristön kuivatus ei saa huonontua ja vaikeutua sekä niiden tulisi olla toimintavarmoja, vähähoitoisia ja soveltua koneelliseen kunnossapitoon. (Liikennevirasto 2013c, s. 25, 37)

3.2 Levennysosan luiskakaltevuus

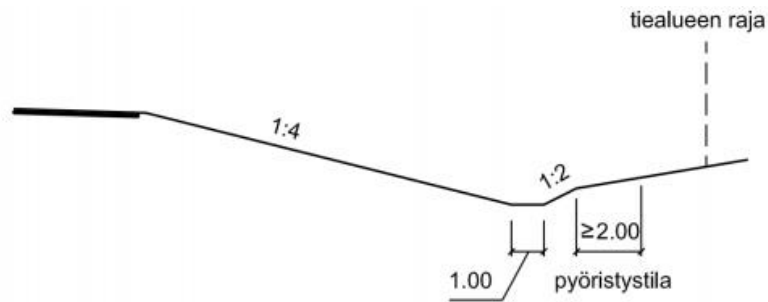
Tien kapea leventäminen voidaan toteuttaa nykyisen tien sisäluiskia jyrkentämällä (Kuva 19). Liian jyrkät sisäluiskat voivat kuitenkin olla epävakaita ja hankalia tiivistää, mikä aiheuttaa sisäluiskien sortumista ja levennyksen saumahalkeamisen. Puutteellinen kuivatus voi huonontaa tien reunojen kantavuutta, mikä taas voi aiheuttaa päällysteen urautumista ja muita muodonmuutoksia tien reunoilla. Kapealla tiealueella tien leventäminen voi vaatia tien ulkoluisikan jyrkentämisen luiskan stabiliteetin kannalta ongelmallisen jyrkäksi. Luiskasta valuva materiaali voi tukkia sivuojan, mikä aiheuttaa vedenpinnan nousua ja tierakenteen kastumisen. Märkä tierakenne on herkempi esimerkiksi liikenteen kuorman aiheuttamille muodonmuutoksille ja pakkasen aiheuttamalle routimiselle. (Saarenketo & Varin 2012, s. 10)



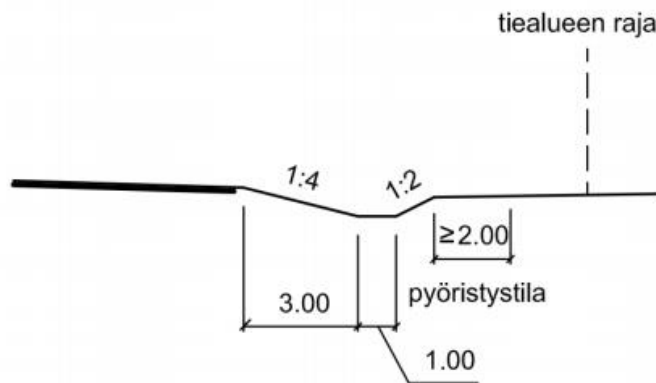
Kuva 19. Tien leventäminen luiskaa jyrkentämällä (Saarenketo & Varin 2012, s. 20)

Luiskan jyrkentämisessä pehmeä luiskatäyte korvataan kantavalla materiaalilla ja tapauskohtaisesti tehdään kaapelien siirrot (Liikennevirasto 2013a, s. 67). Pääsääntönä on kuitenkin säilyttää mahdollisimman loivat luiskakaltevuudet, jotka ovat ympäristölle parempia, liikenneturvallisempia ja niillä on parempi vastustuskyky eroosiota vastaan. Roadexin tekemien tutkimusten mukaan huono luiskastabiliteetti on yksi tievaurioiden pääsyistä. Etenkin ojien puhdistusten yhteydessä kaivetun eroosioherkän materiaalin kasaaminen tien sisäluiskaan ja valuminen siitä ojaan huonontaa tierakenteen kuivatusta, mistä seuraa tierakenteen nopeaa vaurioitumista. (Roadex Network 2021) Liikenneviraston mukaan taas suistumisonnettomuudet ovat muilla kuin pääteillä yleisin kuolemaan johtava onnettomuustyyppi (Liikennevirasto 2013a, s. 69).

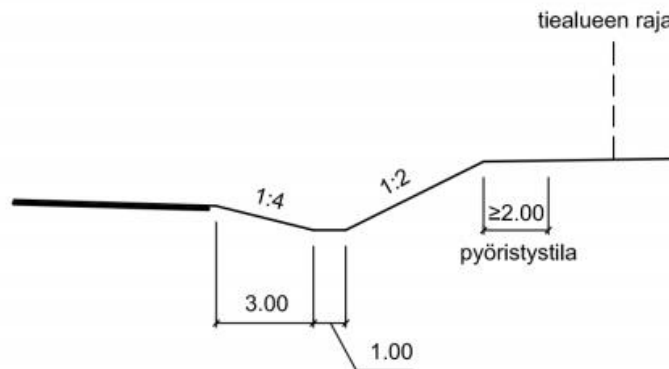
Tien rakenteen parantamisen suunnittelussa tulee selvittää nykyisen tien luiskakaltevuudet. Jyrkät luiskat ovat voineet aiheuttaa reunimmaisen uran nopean painumisen, halkeilua tai reunapainumia, mitkä ovat hyvä havainnoida maastokäynnin yhteydessä. (Tiehallinto 2005, s. 70) Tien sivuojen ja luiskien suunnittelu on osa tien reunaympäristön suunnittelua. Jos luiskakaltevuus joudutaan tekemään vaarallisen jyrkäksi, asennetaan tieosuudelle reunakaiteet. Sisäluiskan vähimmäisleveys määrätään tiesuunnitelman peruspoikkileikkauksessa, jotka on esitetty kuvassa 20. Perustapauksissa sisäluiskan kaltevuus on 1:4, ojan pohjan tasanne pyöristystä varten 1 m, ulkoluiska 1:2 ja ulkoluiskan yläreunan pyöristystila vähintään 2 m muualla kuin pellolla. (Liikennevirasto 2013a, s. 35) Tien leventämisen yhteydessä vauriokohtien luiskia tulee loiventaa nykyisestä kaltevuudesta ja piennarta leventää. Rumpujen kohdalla luiskien jyrkentäminen suunnitellaan tapauskohtaisesti, jos rumpujen jatkaminen on mahdollista välttää jyrkemällä luiskakaltevuudella. (Tiehallinto 2005, s. 70)



Kuva 6.1 Kaiteeton penger. Vaihtoehtoisesti voidaan tehdä jyrkkä oja 2–6 metrin etäisyydelle luiskan alareunasta. Ojan etäisyys riippuu tien nopeus-
tasosta ja liikennemäärästä luvun 6.3 mukaan.



Kuva 6.2 Tien tasaus lähellä maanpintaa.



Kuva 6.3 Maaleikkaus. Pyöristystilaa ei tarvita suistumisturvallisuuden vuoksi, kun ulkoluiskan korkeus on yli 2 m.

Kuva 20. Tien peruspoikkileikkaukset penkereellä, lähellä nollassausta ja leikkauksessa (Liikennevirasto 2013a, s. 36)

Luiskakaltevuuksilla on vaikutusta ajoturvallisuuteen ja auton hallintaan onnettomuustilanteissa. Luiskakaltevuus vaikuttaa auton kaatumisherkkyyteen ja mahdollisuuteen hallinnasta karanteen auton päätymiseen takaisin tielle. Ojan pohjan pyöristämisellä taas vähennetään auton keulan osumista ulkoluiskaan ja annetaan tilaa ohjausliikkeille, kun taas jyrkkä ulkoluiska voi aiheuttaa rajun törmäyksen. Ulkoluiskan takana oleva pyöristystila vähentää suistuneen auton kaatumisriskiä, helpottaa auton

ohjaamista ja varmistaa, ettei välittömästi ojan takana ole kantoja tai kiviä. Pyöristysalueen jälkeen tulee puista raivattu alue, joka helpottaa auton ohjaamista puista pois päin ja hidastaa vauhtia. (Liikennevirasto 2013a, s. 35)

Luiskien varmuuteen sortumista vastaan vaikuttaa myös tiepenkereen stabiliteetti. Tiepenkereen stabiliteettilaskennalla selvitetään rakenteen varmuuden riittävyys pohjamaan murtumista vastaan. Nykyisen tien penkereen stabiliteetti tulee tarkistaa rakenteen uusimisen, muuttamisen ja korjaamisen yhteydessä, mitoituskuormien muuttumisen yhteydessä, penkereen ollessa suunnittelutöiden vaikutusalueella sekä silloin, jos on syytä epäillä penkereen käytön aikaista riittämätöntä stabiliteettia. Riittävä varmuus todetaan osavarmuusmenettelyllä, mutta lisäksi on suositeltavaa tehdä kokonaisvarmuuslaskenta. Siirtymät tarkastellaan käyttörajatilassa. Hienorakeisilla pohjamailla voidaan erottaa suljetun tilan varmuus ja avoimen tilan varmuus, kun taas karkearakeisilla mailla jakoa ei tehdä. Nykyisen penkereen mitoitus tilanne voi olla periaatteessa avoin, mutta käytännössä kuitenkin suljettu muuttuvien kuormien vuoksi. (Liikennevirasto 2018b, s. 7–8)

Luiskien stabiliteetin geotekninen suunnittelu tehdään osana pehmeikölle maanvaraisesti perustettavien penkereiden suunnittelua ja mitoitusta, mutta myös kantaville pohjamaille perustettaville penkereille, jolloin suunnittelu ja tarkastelu voidaan tehdä suuruusluokkatarkasteluna (Liikennevirasto 2010a, s. 12). Luiskan kaltevuus valitaan siltissä, hiekassa ja moreenissa maalajin kitkakulmaa loivemmaksi, kun taas koheesiomaissa luiskan vakavuus riippuu enemmän kokonaiskorkeudesta kuin kaltevuudesta. Luiskakaltevuuden mitoitus tehdään lyhyt- ja pitkäaikaiselle tilanteelle sekä huomioidaan erityisesti pohjaveden ja huokosvedenpaineen vaikutus sekä pintavesieroosio. (Liikennevirasto 2014, s. 44)

Leventämissuunnittelussa on huomioitava erot eri aikakausien suunnitteluohjeissa. Nykyisin tiepenkereet suunnitellaan aina siten, että varmuus sortumaa vastaan on riittävä normaalilla liikennekuormalla. Tien leventämisen yhteydessä nykyisen tien penger on kuitenkin voitu suunnitella tekemättä stabiliteettitarkasteluja, nykyisestä poikkeavilla mitoitusperiaatteilla ja erityisesti pohjanvahvistusta vaativien kohtien suunnittelussa käytetyt mitoituskuormat ovat voineet olla hyvinkin nykyisiä mitoituskuormia pienempiä. Kuvassa 21 on esitetty tiepenkereen luiskien stabiliteettiin vaikuttavia

tekijöitä. Erityisesti penkereen ja sitä kautta luiskan stabiliteettiin vaikuttavia tekijöitä ovat kuormitus, pohjaolosuhteet ja pengergeometria. (Liikennevirasto 2017, s. 15)

Stabiliteettiin vaikuttava tekijä	Ominaisuus
Geometriset tiedot	<ul style="list-style-type: none"> • Maaston muoto • Pengerkorkeus • Penkereen leveys • Pientareen leveys • Luiskakaltevuus ja sivuojan syvyys
Tien rakenne ja pohjaolosuhteet	<ul style="list-style-type: none"> • Pohjamaatyypit ja ominaisuudet • Pohjamaan kerrosrakenne • Koheesiomaiden lujuus ja paksuus • Mahdollisen kuivakuorikerroksen paksuus ja materiaaliominaisuudet • Tien rakennekerrosten paksuus ja materiaaliominaisuudet • Pengertäytön materiaaliominaisuudet • Päällystepaksuus ja -tyyppi • Pohjavedenpinta
Kuormat ja ympäristömuuttujat	<ul style="list-style-type: none"> • Liikennekuorma (tai erikoiskuljetuksen aiheuttama kuorma) • Samanaikainen liikenne rinnakkaisella kaistalla • Kuormituksen kesto ja dynaaminen luonne • Sääolosuhteet ja vuodenaika • Tierakenteen ikä (maa lujittuu ajan myötä, maanvarainen vastarakennettu penger sortuu siis herkemmin)

Kuva 21. Tiepenkereen luiskien stabiliteettiin vaikuttavia tekijöitä (Liikennevirasto 2017, s. 15)

On myös tiedostettava rakentamisessa käytettävien kivennäismateriaalien kuormaa kasvattava vaikutus luiskan alueella, pohjanvahvistuksiin sekä pohjarakenteisiin, vaikka leventäminen ei ulottuisi nykyisen luiskan ulkopuolelle eikä pohjanvahvistuksia tai pohjarakenteita tarvitsisi laajentaa. Yleensä nykyisten pohjanvahvistusten tai muiden pohjarakenteiden leveys on riittävä niissä tapauksissa, kun levennys on hyvin vähäinen tai leventämiseen on varauduttu aiemmissa rakennusvaiheissa. (Tiehallinto 2005, s. 73)

Maanvaraisen penkereen stabiliteettia voidaan parantaa penkereen vastapainona toimivalla vastapenkereellä. Vastapenger mitoitetaan stabiliteetin perusteella ja menetelmänä se soveltuu stabiliteetin ollessa muutenkin lähellä riittävää. Vastapenkereen vaikutus painumiin on yleensä hyvin pieni, mutta syvillä pehmeiköillä kuormittava vaikutus ulottuu varsinaisen penkereen alle ja kasvattaa jonkin verran konsolidaatiopainumaa, millä voi olla edullinen vaikutus tien poikkileikkauksien säilyttämisen kannalta. Vastapenkereen stabiliteettia parantamalla minimivaatimusta suuremmaksi voidaan usein myös estää pienet plastiset muodonmuutokset. Joissain tapauksissa vastapenger voi kuitenkin painua huomattavasti

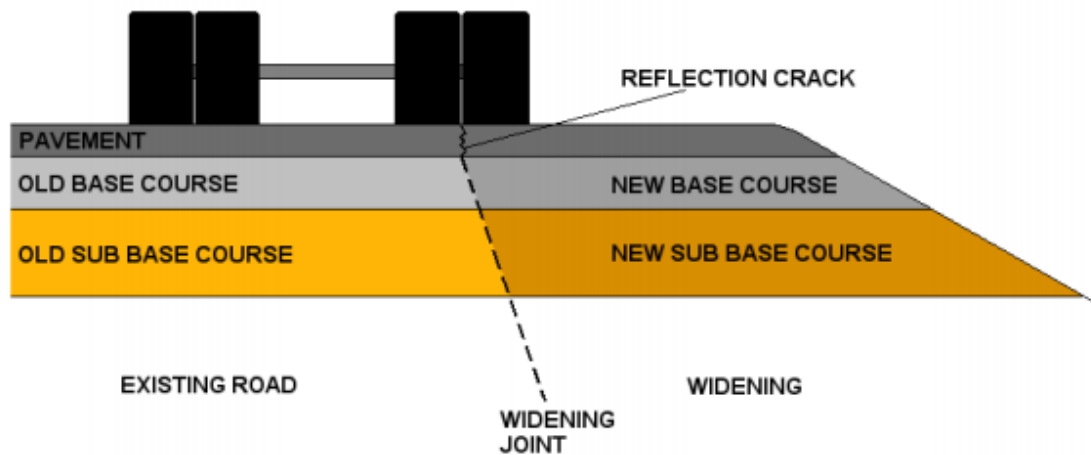
ja vaikuttaa pääpenkereen stabiliteettiin, jolloin ratkaisuna voi olla esimerkiksi osittainen massanvaihto vastapenkereen alle painumien rajoittamiseksi ja vastapenkereen painon lisäämiseksi. (Liikennevirasto 2014, s. 20–21)

Luiskaverhous tehdään lähinnä eroosiosuojausta varten, mutta sillä on myös hiukan vaikutusta luiskan stabiliteettiin verhousmateriaalin paremman kitkakulman ja hiukan pehmeää pohjamaata suuremman painon, hyvän vedenläpäisevyyden, pohjavesieroosion estävän vaikutuksen sekä pintavesieroosiolta suojaavan vaikutuksen vuoksi. Verhousmateriaalina käytetään yleensä mursketta, soraa tai soraista hiekkaa ja verhous tehdään ylhäältä alaspäin paksunevaksi ja ojanpohjaan ulottuvaksi kerrokseksi. Nykyisin pohjamaan ja verhouksen väliin asennetaan usein suodatinkangas. (Liikennevirasto 2014, s. 44)

Etenkin hienorakeista maa-ainesta sisältävät pohjavedenpinnan tason alapuolella olevat luiskat tarvitsevat jonkinlaisen luiskaverhoukset estämään eroosiota. Luiskien rakentamisessa kaivuvaihe on kriittisin tilanne maakerrosten häiriintymisen kannalta sekä työkon- ja kaivumassakuormituksen poiketessa arvioituista kuormista. Luiskakaltevuus ja luiskaverhouksen paksuus vaikuttavat toisiinsa suunnittelussa. Suunnittelu tehdään kuitenkin usein ilman tarkkoja laskelmia tai laskelmiin tarvittavia tarkkoja pohjatutkimuksia tehdään vähän. Luiskaverhousten tekemisessä korostuukin toteutuksen aikana tehtävä maalaji- ja pohjavesihavainnointi, jotta luiskaverhoukset vastaavat suunnitelmia. (Liikennevirasto 2014, s. 44–45)

3.3 Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen

Nykyisen tien ja levennysosan rakennekerrosten saumakohdan sijoittamisella on havaittu olevan vaikutusta saumakohdan halkeamiseen. Nykyisen tien ja levennysosan sauma tulisi sijoittaa siten, että se ei ole ajouran kohdalla, eli siihen ei kohdistu suoraa rengaskuormitusta. Saumakohdan sijoittaminen ajouran kohdalle aiheuttaa päällysteen heijastushalkeilua, mikä taas johtaa tien levennysosan ja nykyisen tien välisen sauman halkeamiseen (Kuva 22). Nykyisen tien ja levennysosan rakennekerrosten erilaiset paksuudet ja ominaisuudet vaikuttavat myös saumakohdan halkeamiseen ajouran kohdalla. (Saarenketo & Varin 2012, s. 6)



Kuva 22. Rengaskuormituksen aiheuttama heijastushalkeilu levennyssauman kohdalla (Saarenketo & Varin 2012, s. 32)

Ajourien muodostumiseen ja sijoittumiseen tiessä vaikuttavat päällysteen leveys ja tien kohdistuva kuormitus. Tierakenteen pääasiallinen kuormitus aiheutuu liikenteestä. Ajoneuvojen tien kohdistama rasitus jakautuu epätasaisesti tien poikkileikkauksen suhteen kuormituksen keskittyessä voimakkaasti ajolinjojen muodostamiin ajouriin. Ajourien sijoittumiseen tiessä taas vaikuttaa tien leveys. Kapeilla teillä ajolinjat ovat selkeämmät, kun taas leveillä teillä vaihtelua on enemmän. Liikennekuormitukset ovat hyvin vaihtelevia tiellä liikkuvien ajoneuvojen erilaisten kuormitusten suuruuden ja säännöllisyyden mukaisesti. (Ehrola 1996, s. 31–32)

Ajoneuvojen aiheuttamasta kokonaiskuormituksesta välittyy tien tiekuormitus kuormituksen siirtyessä ajoneuvon jousituksen välityksellä ajoneuvon akseleille, akseleilta renkaille ja renkaista tien pintaan. Kuormitettu rengas painuu ajoradan pintaan ja litistyy, jolloin renkaan ja tien pintaan muodostuu rengaskoon, renkaan rakenteen, rengaskuorman ja renkaan ilmanpaineen yhteisvaikutuksen mukainen kosketuspinta. Kosketuspinta ja tien rakenne taipuu kuormitetun renkaan alla, jolloin syntyy pystysuuntaisia puristusvoimia ja horisontaalisia leikkausvoimia sekä erilaisia veto- ja puristusjännityksiä. (Ehrola 1996, s. 39–40)

Asfalttipäällysteen väsymishalkeiluun vaikuttaa päällysteen alapuolella olevan sitomattoman kerroksen jäykkyys. Päällystelaatan taipuessa laatan alapintaan syntyy vetomuodonmuutoksia, jotka ovat sitä suurempia, mitä heikompi kantavuus eli jäykkyys päällysteen alapuolisessa sitomattomassa kerroksessa on. Tien kohdistuvan akselikuorman suuressa sitomattoman kantavan kerroksen jännitystaso kasvaa, jolloin

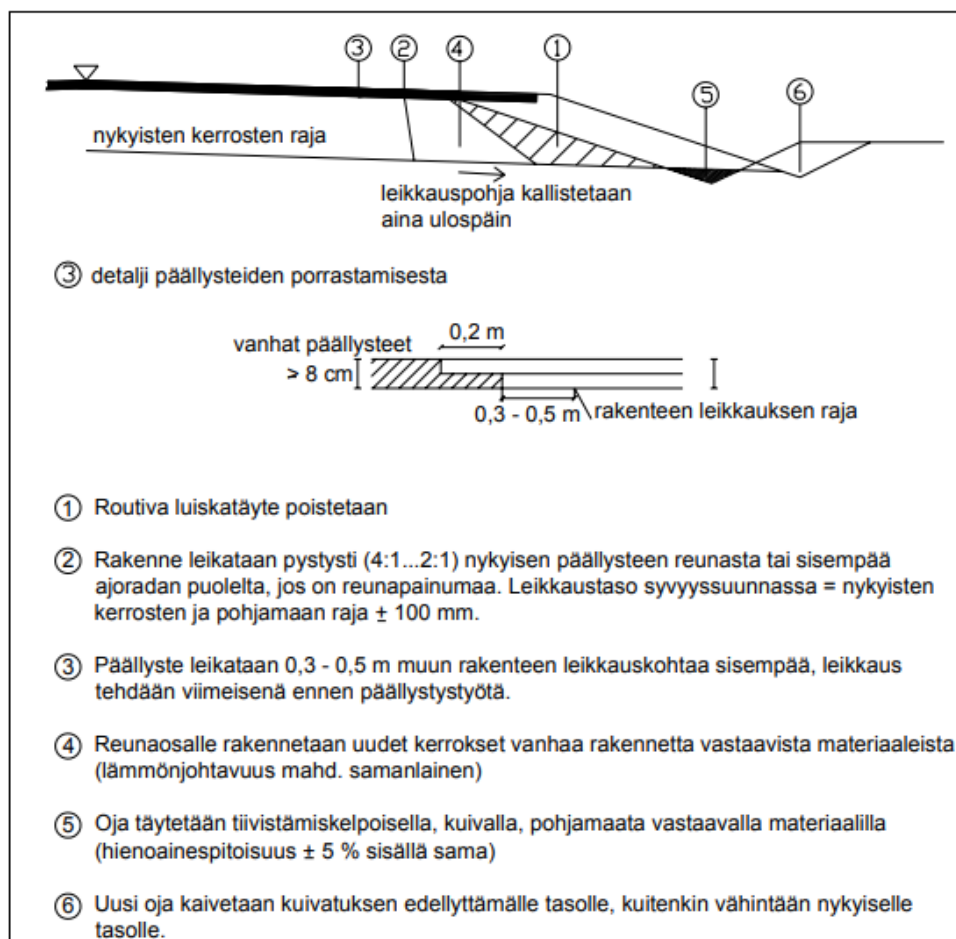
sitomattoman kerroksen jäykkyys lisääntyy. Jäykkyyden lisääntymisen myötä päällystelaatan taipuma ja vetomuodonmuutos ovat pienempiä kuin akselikuorman lisäys edellyttäisi. Vastaavasti akselikuorman pieneneminen pienentää sitomattoman kantavan kerroksen jäykkyyttä, jolloin päällystelaatan taipuma ja päällysteen alapinnan vetomuodonmuutos eivät ole niin suuria kuin akselikuorman pieneneminen edellyttäisi. (Ehrola 1996, s. 54–55)

Asfaltin urautumiseen eli deformatumiseen sitomattoman kerroksen jäykkyys vaikuttaa päinvastaisella tavalla kuin väsymishalkeiluun. Tietä kuormittavan akselikuorman kasvaessa kasvaa sitomattoman kantavan kerroksen jäykkyys, jolloin kantava kerros antaa vähemmän periksi ja päällyste kuormittuu kovaa alustaa vasten enemmän kuin kuormituksen lisäys edellyttäisi. Suurempi kuormitus lisää päällysteen deformatumisen riskiä. Vastaavasti akselikuormituksen pieneneminen pienentää sitomattoman kantavan kerroksen jäykkyyttä, jolloin kerros antaa enemmän periksi kuorman alla, päällyste kuormittuu vähemmän kuin kuormituksen pieneneminen edellyttäisi ja deformatumisen riski pienenee. (Ehrola 1996, s. 55)

Käytännössä standardiakselipainoa pienemmillä akselikuormilla väsymishalkeilun suhteellinen riski on suurempi kuin urautumisen ja epätasaisuusvaurioiden riski. Vastaavasti standardiakselipainoa suuremmilla akselikuormilla deformatumisvaurioiden suhteellinen riski on suurempi kuin väsymishalkeiluriski. Ilmiötä voidaan ainakin osittain selittää tierakenteen sitomattomien rakennemateriaalien kuormituskäyttäytymisen jännitysriippuvuudella, minkä mukaan karkearakeisilla materiaaleilla jäykkyys kasvaa vallitsevan jännityksen lisääntyessä ja hienorakeisilla materiaaleilla taas jäykkyys pienenee jännityksen lisääntyessä. Suomessa tierakenne muodostuu yleensä ohuesta sidotusta päällystekerroksesta, jonka alla on alusrakenteen laadusta riippuen yksi tai useampi sitomaton rakennekerros. Routasuojauksessa vaatii usein paksumman rakenteen kuin kuormituskestävyysmitoitus, jolloin päällysteen muodonmuutoksia aiheuttaa pääosin päällysteen väsymishalkeilu ja osittain deformatuminen. Toisaalta paksujen sitomattomien rakennekerrosten deformatuminen voi aiheuttaa rakenteen deformatumista ja sitä kautta tien urautumista ja epätasaisuutta. (Ehrola 1996, s. 54–56)

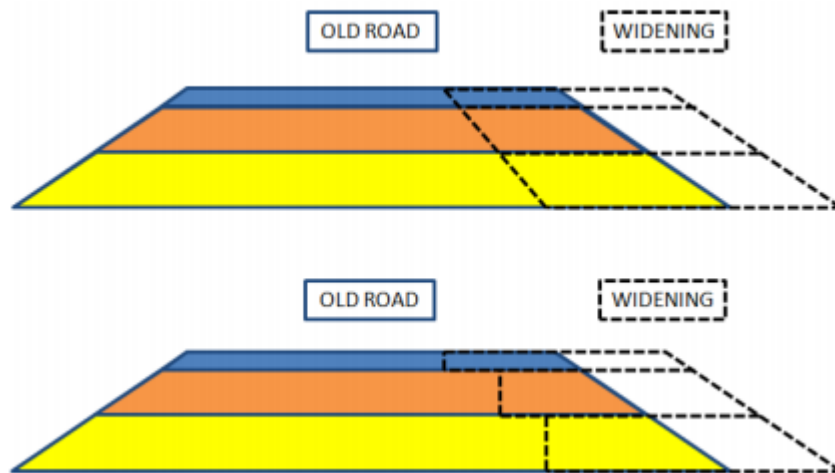
Tien levantämisen suunnittelussa tulee huomioida, onko kyseessä rakennettu tie vai rakennettu tie, jota on kertaalleen parannettu. Rakennetun tien levantämisessä oletuksena on, että tien rakennekerrokset ovat routimattomia, kerrospaksuuksissa ei ole juurikaan

vaihtelua ja tiessä ei esiinny epätasaista routanousua. Käytännössä rakennetut tiet ovat rakentamattomaan maastoon rakennettuja uusia väyliä, joita ei ole vielä parannettu rakenteellisesti tai levennetty. Rakennetun tien leventämisessä nykyinen tie leikataan päällysteen reunasta lähes pystysuorasti ja päällyste 0,3–0,5 m rakenteen leikkauskohtaa sisempää (Kuva 23). (Tiehallinto 2005, s. 75–76)



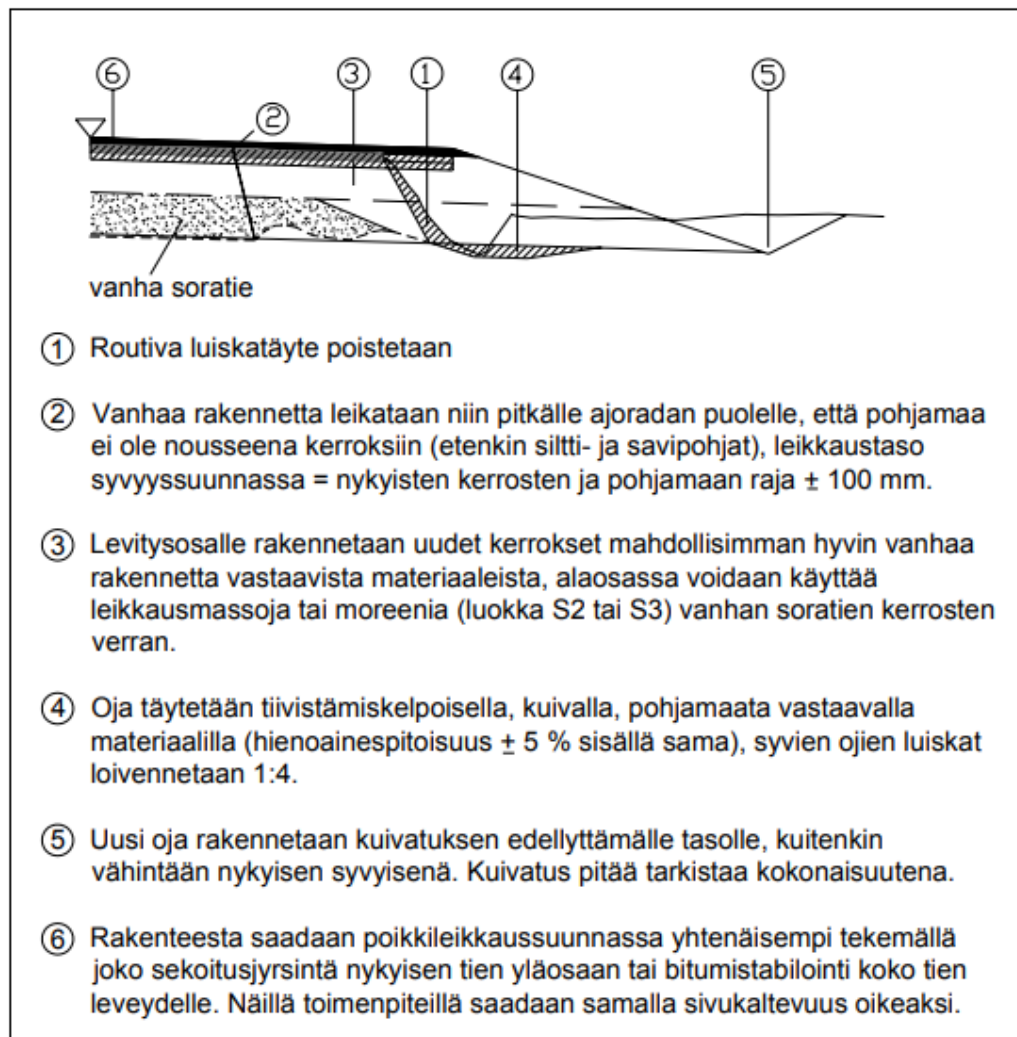
Kuva 23. Rakennetun tien leventäminen (Tiehallinto 2005, s. 76)

Rakennekerrokset voidaan rakentaa nykyistä tierakennetta vastaavista tiivistettävissä olevista materiaaleista. Rakenteen leikkausta ei saa tehdä pystysuoraan nykyisten tien varisemisriskin vuoksi sekä uusien rakennekerrosten kiilaamisen varmistamiseksi nykyisiä rakennekerroksia vasten. Kapeassa levennyksessä levennysosan routimattomat rakennekerrokset voidaan rakentaa samasta hyvin tiivistyvästä materiaalista eikä eri kerroksia tarvitse erotella. (Tiehallinto 2005, s. 75–76) Suositeltu nykyisen tierakenteen leikkauskulma on 4:1 ja 2:1 välillä. Rakenteiden limityssauma voi olla joko tasaisesti leikattu tai porrastettu (Kuva 24). Näistä Suomessa käytetään tasaisesti leikattua saumaa. (Saarenketo & Varin 2012, s. 30)



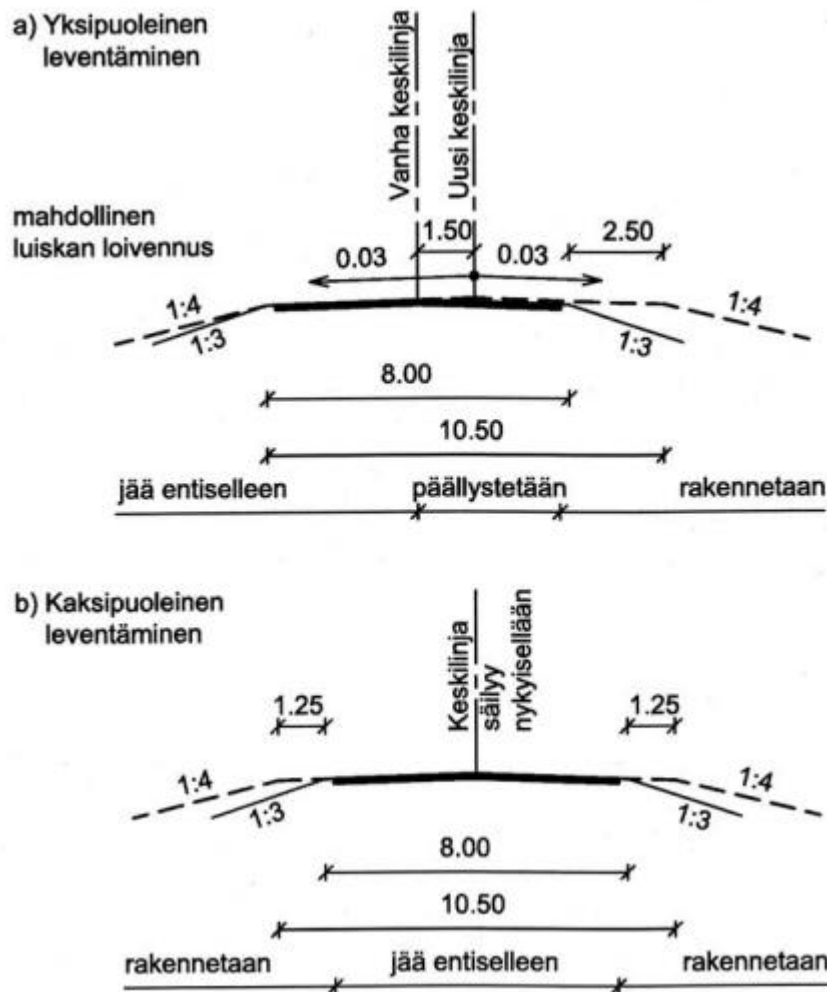
Kuva 24. Tien levennysosan ja nykyisen tien rakennekerrosten limittäminen (Saarenketo & Varin 2012, s. 30)

Rakennetun, kertaalleen parannetun tien rakennekerrokset voivat taas olla routivia ja kerrospaksuuksiltaan vaihtelevia. Käytännössä tällaiset tiet ovat teitä, jotka ovat ajan saatossa rakennettu esimerkiksi soratien päälle ja niitä on kunnostettu useaan kertaan ja useilla eri menetelmillä. Tierakenne sisältää yleensä routivia ja paksuudeltaan epätasaisia kerroksia, jotka aiheuttavat nykyisessä tiessä epätasaista routanousua. Rakennetun, kertaalleen parannetun tien leventämisessä routiva luiskatäyte poistetaan ja rakennetta leikataan niin pitkälle ajoradan puolelle, ettei routivaa pohjamaata ole havaittavissa tien rakennekerroksissa (Kuva 25). Levennysosan rakennekerroksen rakennetaan mahdollisimman hyvin nykyistä rakennetta vastaavista materiaaleista. Rakennekerrosten alapuolella voidaan käyttää leikkausmassoja tai muita pohjamaata vastaavia routivia materiaaleja vanhan soratien verran. Rakenteen yhdenmukaistamiseksi ja nykyisen tien mahdollisten kantavuuspuutteiden korjaamiseksi voidaan koko tien leveydelle tehdä esimerkiksi sekoitusjyrsintä, jonka avulla saadaan myös koko tien sivukaltevuus tehtyä. (Tiehallinto 2005, s. 77)



Kuva 25. Rakennetun, kertaalleen parannetun tien leventäminen (Tiehallinto 2005, s. 77)

Tien levennys voidaan sijoittaa joko symmetrisesti tien molemmille puolille tai toispuoleisesti vain tien toiselle puolelle (Kuva 26). Symmetrisesti sijoitettavan levennyksen avulla mahdolliset kantavuus- ja routivuuserot ja niiden aiheuttamat halkeamat jäävät pientareen kohdalle tien kuormitetun osan sijasta ja painumat ovat vähäisempiä. Levennyksen ollessa kapea jälkitiivistymisestä ja pohjamaan painumisesta johtuvat painumaerot jäävät myös useissa tapauksissa pientareen kohdalle. Pohjanvahvistuksen pieni leventämistarve voidaan puolittaa ja joskus jopa välttää kokonaan tekemällä levennys molemmille puolille tietä. Symmetrisen leventämisen etuna on myös se, että suoralla tieosuudella tien harjakohtaa tarvitse siirtää ja puuston raivaustöiden määrä on pienempi. (Tiehallinto 2005, s. 73)



Kuva 26. Tien toispuoleinen ja symmetrinen leventäminen (Liikennevirasto 2013a, s. 62)

Toispuoleisessa leventämisessä pieni geometrian korjaus on mahdollista, pohjanvahvistusten tai pohjarakenteiden pieni leventäminen on edullisempaa sekä kalliroleikkauksien kapeat levennykset voidaan välttää. Toispuoleisessa leventämisessä liikenteelle aiheutuva haitta on symmetrisesti tehtävää levennystä vähäisempi sekä levennyksen ja nykyisen tien välinen sauma voidaan jättää ajokaistojen väliin, jolloin liikenne ei kulje sauman päältä. Rakenteen tiivistämistyö onnistuu paremmin, johtosiirtoja voidaan välttää tai johtosiirrot rajoittuvat vain tien toiselle puolelle tien toispuoleisessa leventämisessä, kuten myös päällysrakennetyöt rajoittuvat tien toiselle reunalle alentaen yksikköhintoja. (Tiehallinto 2005, s. 73) Toispuoleinen leventäminen vaatii usein kaksipuolisesti kallistetun tien harjan kohdan siirtämistä. Yksiajorataisilla teillä harjan siirto onnistuu yleensä koko tien leveyden päällystämisen yhteydessä harjan siirtomatkan ollessa suhteellisen lyhyt. (Liikennevirasto 2012a, s. 62)

3.4 Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen

Ajouran kohdalle sijoitettu nykyisen tien ja levennysosan välinen päällysteen sauma voi aiheuttaa heijastushalkeilua nykyisen tien ja levennysosan välillä, mikä johtaa levennyssauman halkeamiseen (Saarenketo & Varin 2012, s. 6). Tien leventämisen suunnittelussa tulee ottaa huomioon, että sidottujen rakennekerrosten ja muun rakenteen leikkaussaumat eivät sijoitu samalle kohdalle eikä mitkään rakenteen saumakohdista sijoitu ajouran kohdalle. Uudet päällystekerrokset tulee limittää siten, että päällystekerrosten saumat eivät ole kohdakkain. (Tiehallinto 2005, s. 73).

Tien kulutuskerroksena käytettävän asfaltin ominaisuudet määräytyvät asfaltin sisältämien raaka-aineiden mukaan. Joustavien päällysrakenteiden sidottujen rakennekerrosten sideaineena käytetään bitumia, joka on viskoelastinen materiaali. Bitumin käyttö saa aikaan sidottujen rakennekerrosten käyttäytymisen viskoelastisen materiaalin tavoin, jolloin sidottujen rakennekerrosten kuormituskäyttäytyminen on suhteessa lämpötilaan ja kuormitusaikaan sekä lämpötilanmuutos asfalttipäällysteen kutistumis- ja laajenemiskäyttäytymiseen. Viskoelastisuuden vuoksi lämpötilalla on oleellinen vaikutus asfalttipäällysteiden toimintaan tierakenteissa, kun taas sitomattomiin rakennekerrokseen lämpötila vaikuttaa ainoastaan jäätymisen kautta, jolloin sitomattomien kerrosten jäykkyys kasvaa huomattavasti verrattuna sulaan tilaan. (Ehrola 1996, s. 129)

Lämpötilan muutokset aiheuttavat tien sidotuissa rakennekerroksissa kutistumista ja laajenemista. Kesällä asfalttipäällysteen lämpötila voi olla huomattavasti ilman lämpötilaa korkeampi, kun taas talvella päällysteen lämpötila noudattelee ilman lämpötilan kulkua. Kutistuminen aiheuttaa sidottuihin materiaaleihin vetojännityksiä, joita sidotut tierakenteet kestävät huonommin kuin puristusjännityksiä. Lämpötilan lasku aiheuttaa myös muutoksia sidottujen kerrosten vetolujuuteen. Vetolujuus kasvaa ensin merkittävästi lämpötilan laskiessa, mutta saavuttaessa tietyn lämpötilatason vetolujuus alkaa laskea. Vetojännitykset kuitenkin kasvavat koko ajan päällysteen lämpötilan laskiessa, kunnes saavutetaan tietty lämpötila, jossa vetojännitys ylittää päällysteen vetolujuuden ja päällystelaatta katkeaa. Katkeamakohdat näkyvät päällysteessä pakkashalkeamina. (Ehrola 1996, s. 132)

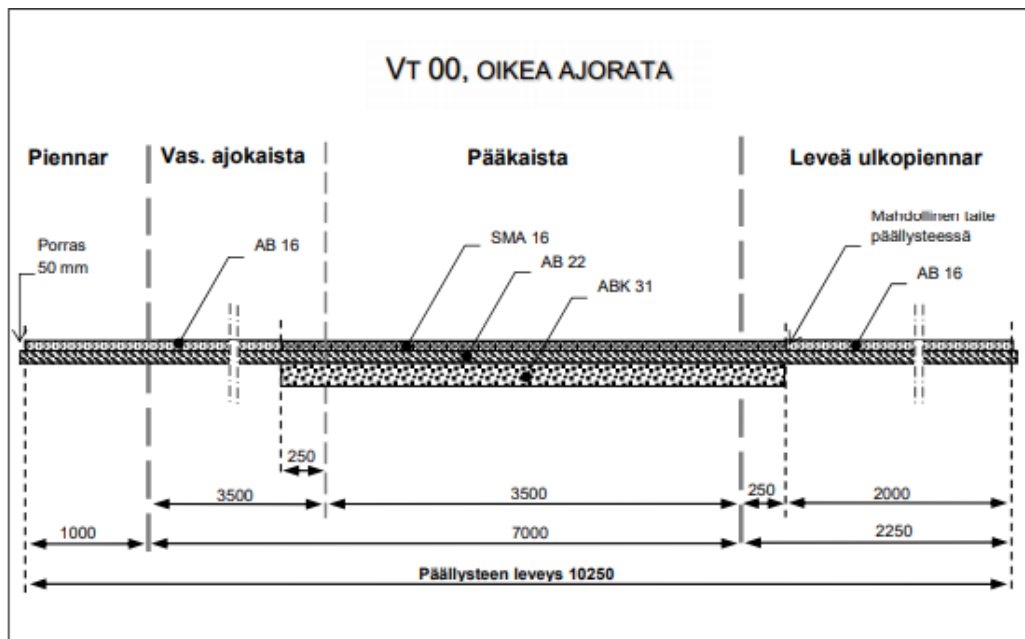
Lämpötila vaikuttaa voimakkaasti myös asfalttipäällysteen jäykkyyteen. Kuormitettaessa asfalttipäällystettä lyhyellä liikennettä vastaavalla kuormitusajalla lämpötilan ollessa + 50 °C on asfalttipäällysteen jäykkyys noin 100 MPa, + 20 °C lämpötilassa noin 2 500 MPa ja – 20 °C lämpötilassa noin 15 000 MPa. Vuodenajalla on näin ollen suuri vaikutus asfalttipäällysteen jäykkyyteen ja mekaaniseen käyttäytymiseen kuormitusajan lisäksi. Koko asfalttipäällysteen elinkaaren ajan asfalttipäällysteessä oleva sideaine kovettuu ja tekee asfaltin hauraaksi ja alttiimmaksi vaurioitumiselle. Kovettumista aiheuttaa pääasiassa hapettuminen, mikä nopeutuu lämpötilan noustessa, mutta myös auringon ultraviolettisäteily kiihdyttää hapettumista. (Ehrola 1996, s. 132–133)

Päällysteen väsymisprosessissa tietä kuormittava ajoneuvon rengas saa aikaan tierakenteen taipumisen, mikä aiheuttaa sidottujen kerrosten yläpintaan puristusrasituksen ja alapintaan vetorasituksen, mikä taas aiheuttaa vetomuodonmuutoksen. Sidottu kerros alkaa väsyä vetomuodonmuutoksen toistuessa riittävän monta kertaa ja seurauksena on päällysteen alapinnan hiushalkeamat, jotka rasituksen jatkuessa lisääntyvät, suurenevat ja etenevät päällysteen pintaa kohti. Päällysteen väsymisen alkaessa päällysteen alapinnasta, voi päällysteen jäykkyys olla enää puolet alkuperäisestä, kun halkeamat havaitaan päällysteen pinnassa. (Tiehallinto 2002a, s. 41–43)

Päällystesuunnittelu koostuu urakkamuodosta riippuen suunnittelukohteen lähtötietojen hankinnasta, vaiheittain rakentamisen suunnittelusta, urautuneen alustan päällystystoimenpiteen valinnasta, päällystekerroksen paksuuden ja leveyden määrittämisestä, päällysteen kestävyysominaisuuksien vaatimusten asettamisesta, pohjavedensuojauksen, hydraulisten stabilointien ja teräsverkkojen suojauksiin ja meluntorjuntaan liittyvien erityisvaatimusten suunnittelu, päällysteen massatyypin valinta sekä vaatimusten asettaminen asfalttimassalle ja asfaltin raaka-aineille. Maanteiden suunnittelussa päällystesuunnittelu painottuu rakennussuunnitteluvaiheeseen ja asfalttimassan suunnittelu tehdään yleensä hankkeiden toteutusvaiheessa päällysteurakoitsijan toimesta. (Liikennevirasto 2018a, s. 57)

Uusien teiden päällystekerrosten kokonaispaksuuden vähimmäisvaatimus määräytyy tien kuormituskestävyysmitoituksen perusteella. Ylimmän päällystekerroksen leveys määritetään tiesuunnitelmassa ja alempi päällystekerros tehdään 100 mm ylempää leveämmäksi niin, että molempiin reunoihin syntyy vähintään 50 mm leveä porras (Kuva

27). Jos peruskaistan vieressä on peruskaistaa heikommaksi kuormituskestävyysmitoitettu leveä piennar, pysäkki tai toinen ajokaista, ulotetaan peruskaistan paksummat päällysteet vähintään 250 mm viereisen kaistan puolelle. Tällaisen pientareen tai pysäkin sivukaltevuus voi poiketa peruskaistan sivukaltevuudesta. Vilkasliikenteisillä teillä urakkaan viimeiseksi kuuluvan päällystekerroksen paksuus on vähintään 40 mm, ellei massatyyppi tai toimenpidetyyppi edellytä paksumpaa päällystekerrosta. Toteutunut päällysteen kokonaispaksuus osoitetaan kaistan keskeltä sekä tarvittaessa pientareelta otettavilla poranäytteillä. (Liikennevirasto 2018a, s. 59)



Kuva 27. Esimerkki päällystekerrosten leveyksistä ja muutoskohdista tiepoikkileikkauksessa kaistakohtaisessa mitoituksessa (Liikennevirasto 2018a, s. 59)

Nykyiselle tielle tuleva päällystepaksuus määrää yleensä levennyksen päällystepaksuuden. Jos nykyiselle tielle suunniteltu päällyste on tien tulevaan kuormitusluokkaan nähden liian ohut tai paksu, voidaan levennysosalla suunniteltu päällyste korvata ajokaistan kuormitusluokkaa vastaavalla päällystepaksuudella. Mahdolliset, yli 40 mm suuruiset päällystepaksuuden muutoskohdat tulee sijoittaa mahdollisuuksien mukaan ajokaistojen väliin. Päällystekerroksen paksuntaminen on tarkistettava tapauskohtaisesti myös nykyisen tien ajokaistojen kohdalla. (Liikennevirasto 2018a, s. 113)

Päällystyksessä käytettävä asfalttilevitin määrää kerralla tehtävän päällystekerroksen leveyden. Vierekkäisten levityskaistojen saumat sijoitetaan ajokaistojen rajalle ja kapea

piennar päällystetään samalla kun viereinen ajokaista, kun taas leveä piennar joudutaan yleensä päällystämään erikseen. Yksikaistaisen ramppien molemmiin puoliset pientareet ja liittymän kohdalla lyhyellä matkalla oleva ajokaista aiheuttavat haasteita päällystykseen, koska levittimen leveys ei ole riittävä koko alueen päällystämiseen yhdellä kertaa. Jos päällystelaattojen sauma jää ajokaistalle yli 0,3 m päähän kaistaviivasta, sauman purkautumisvaaraa vähennetään tekemällä viimeinen urakkaan kuuluva päällyste kahdella levittimellä ja tiivistämällä koko leveys kerralla. Tie voidaan tapauskohtaisesti päällystää vaiheittain, jos päällystekerrosten kokonaispaksuus on vähintään 80 mm. Yleensä vaiheita on kaksi ja ensimmäisen vaiheen päällysteet ovat liikenteellä 1–2 vuotta, mutta kaikkein vilkasliikenteisimmillä teillä vaiheita voi olla jopa kolme. (Liikennevirasto 2018a, s.66)

Päällysteen tiheys vaikuttaa päällysteen massamäärän ja paksuuteen. Suunnitelmissa ja vaatimuksissa päällystekerroksen paksuus esitetään massamäärän sijasta kerroksen paksuutena. Oletusvaatimusten mukaan vakiopaksuisen päällysteen kerrospaksuus on vähintään 2,5 kertaa asfalttimassan maksimiraekoko, poikkeuksena ABK 22, AB 22 ja SMA 22 -massat, joiden vähimmäispaksuus Liikenneviraston ohjeiden mukaan suunniteltaessa on 50 mm sekä ABK 31 -massa, jonka vähimmäispaksuus on 70 mm. (Liikennevirasto 2018a, s. 60–61)

Vilkasliikenteisillä teillä käytetään melko vesitiiviitä, jäykkiä ja paksuja useampikerroksisia päällysteitä. Päällystekerrokset ovat toisiinsa liimautuneita ja toimivat yhtenäisenä rakenteena. Alemmat rakennekerrokset mitoitetaan riittävän kantaviksi sekä routanousu- ja painumaeroja tasoitetaan tehokkaasti. Paksut jäykät päällystekerrokset suunnitellaan hyvin nastakulutusta kestäväksi, ne eivät deformoidu herkästi sekä suojaavat alempia kerroksia muodonmuutoksilta. Tiiviit päällystekerrokset suojaavat alempia rakennekerroksia veden ja liukkaudentorjunta-aineiden aiheuttamilta murskeen kantavuuden alenemiselta ja hydraulisesti sidottujen materiaalien sidosten heikentymiseltä, mikä huomioidaan materiaalien valinnassa. Vaikka tien poikkisuuntaisia halkeamia ei käytännössä voida kokonaan estää, päällystekerrosten mitoituksessa ja materiaalien valinnassa pyritään ratkaisuihin, joissa päällysteet säilyvät ehjinä mahdollisimman pitkään säilyttäen muotonsa, jäykkyyden sekä vesitiiviyyden. Teiden pinnan ominaisuudet ja rakenteen toimivuus säilytetään ylläpitotoimenpiteillä. (Liikennevirasto 2018a, s. 33)

Vähäliikenteisillä teillä käytetään ohuita ja muodonmuutoksia hyvin kestäviä päällysteitä. Päällysteet eivät ole täysin vesitiiviitä uutenakaan ja niiden voidaan antaa halkeilla melko paljonkin ennen seuraavaa kunnostusta. Päällysteen vaurioitumisnopeuteen pyritään vaikuttamaan rakenteen mitoituksella, valitsemalla kantavaan kerrokseen vettä sietävä materiaali sekä joustavalla päällysteellä. Halkeilu ei huononna tierakenteen kestävyyttä deformaatumista vastaan, mutta halkeilun aiheuttama lisääntynyt veden pääsy rakenteeseen voi alentaa ylimpien kerrosten jäykkyyttä ja kiihdyttää kuormitusten aikaansaamaa vaurioitumista. Ajomukavuutta haittaavia vaurioita korjataan tai vaurioiden ollessa suuria, tehdään pituus- ja poikkisuuntaisen tasaisuuden palauttava sekoitusjyrsintä. Uudelleenpäällystysten avulla toimiva ohutpäällysteinen tie voidaan tarvittaessa muuttaa paksupäällysteiseksi tieksi. (Liikennevirasto 2018a, s. 33)

Käytettäviä asfalttimassatyyppejä ovat kivimastiksiasifaltti, asfalttibetoni, sidekerroksen asfalttibetoni, kantavan kerroksen asfalttibetoni, tiivis asfalttibetoni, avoin asfaltti, valuasfaltti, pehmeä asfalttibetoni ja pehmeä asfalttibetoni viskositeettiluokan betonista. Käytettävän asfalttityypin valintaan vaikuttavat muun muassa liikennemäärä, vaadittu nastarengaskulutuskestävyys, vaatimus urasyvyyden kasvunopeudesta, päällysteen vaikutus tieympäristön melutasoon, vaatimus päällysteen vesitiiviydestä, kyseessä oleva päällystämistoimenpidetyyppi sekä vaatimukset kulumis- ja deformaatiokestävyydelle. Päällysteen tulee täyttää kaikki sille asetetut kestävyysominaisuusvaatimukset rakenteen vaatimustenmukaisuuden toteuttamiseksi. (Liikennevirasto 2018a, s. 61)

3.5 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen

Epätasainen routanousu nykyisen tien ja levennysosan välillä voi aiheuttaa levennysosan saumahalkeaman. Epätasainen routanousu voi olla seurausta nykyisen tien ja levennysosan materiaalipaksuuksien eroavaisuudesta, materiaalien routivuusominaisuuksista ja/tai kuivatuksen puutteesta. Rakenteen routiminen voi vaikuttaa myös tien kantavuusominaisuuksiin etenkin roudan sulaessa ja tierakenteen ollessa märkä, sekä aiheuttaa tien rakennekerrosten leviämistä ajan kuluessa etenkin pohjamaan ollessa pehmeikköä. Tien rakenteiden leviäminen voi aiheuttaa nykyisen tien rakenteiden ohenemista ja rakennekerrosten ominaisuuksien heikentymistä, mikä on huomioitava levennysten suunnittelussa. (Saarenketo & Varin 2012, s. 7–8)

Maan routiessa maa jäätyy eli routaantuu, jolloin maan tilavuus kasvaa maa-aineksessa olevan huokosveden jäätyessä. Tämä maa-aineksen tilavuuden kasvu näkyy maarakenteen pinnassa routanousuna. Maa-aines on routivaa, kun maan jäätyessä tapahtuu tilavuuden kasvua ja routanousua, ja vastaavasti routimatonta, kun maan jäätyminen ei aiheuta muutoksia tilavuudessa ja routanousua. Routiminen edellyttää, että routivaan maa-ainekseen imeytyy routimisen aikana lisävettä routarajan alapuolisista maakerroksista ja pohjavedestä. Karkearakeisilla sora- ja hiekkamaalajeilla roudansyvyys on suurempi kuin hienorakeisilla savimaalajeilla. Pääasiallinen syy eroon roudansyvyydessä on maalajien eri kosteuspitoisuudet. Vähemmän vettä sisältävä karkea maa-aines routii syvemmälle kuin enemmän vettä sisältävä hienorakeinen maa-aines veden jäätyessä luovuttaman jäätyislämmön määrän mukaisesti. (Ehrola 1996, 82–83, 90, 94)

Tie routii, kun tien alusrakenne on routivaa materiaalia, routiva materiaali jäätyy ja routiva, jäätyvä maakerros saa lisävettä. Jos jokin edellä mainituista kolmesta ehdosta ei täyty tai toteutuu puutteellisesti, routimista ei tapahdu tai routiminen rajoittuu. Yleisesti ottaen routiva maa-aines on riittävän hienorakeista ja lisävettä on saatavilla pohjavedenpinnan tason ollessa riittävän korkealla. Rakennekerrosten pysyminen routimattomina edellyttää, että tierakenteen kerroksellisuus säilyy ja rakennekerrokset eivät sekoitu keskenään. (Ehrola 1996, s. 98, 137–138)

Liikenneväylillä routaantuminen alkaa ilman lämpötilan laskiessa 0 °C alapuolelle, jolloin lämpövirtaus kulkee maasta ilmaan eli lämpimästä kylmää kohti. Routaantuminen on sitä nopeampaa, mitä kylmempi ilma tienpinnan yläpuolella on. Roudan sulaminen taas alkaa ilman lämpötilan noustessa 0 °C yläpuolelle. Sulaminen tapahtuu pääosin tien ja maan pinnasta alkaen, mutta maalämmöstä johtuen etenee myös osittain routarajalta käsin. Karkearakeisesta materiaalista rakennettu, vähän kosteutta sisältävä tierakenne jäätyy nopeasti, mutta alusrakenteessa roudan eteneminen hidastuu alusrakenteen ollessa päällysrakennetta kosteampi. (Ehrola 1996, 82–83, 94, 96)

Roudan etenemiseen vaikuttaa myös jäätyvän kerroksen paksuus. Paksu routarajan yläpuolella oleva maakerros hidastaa roudan etenemistä enemmän kuin ohut maakerros, koska mitä paksumpi maakerros routarajan yläpuolella on, sitä suurempi on sulasta maasta poistuvan lämpövirtauksen vastus. Lämpövirtauksen aiheuttama roudan etenemisen vastus on Pohjois-Suomessa pienempi kuin Etelä-Suomessa Pohjois-Suomen

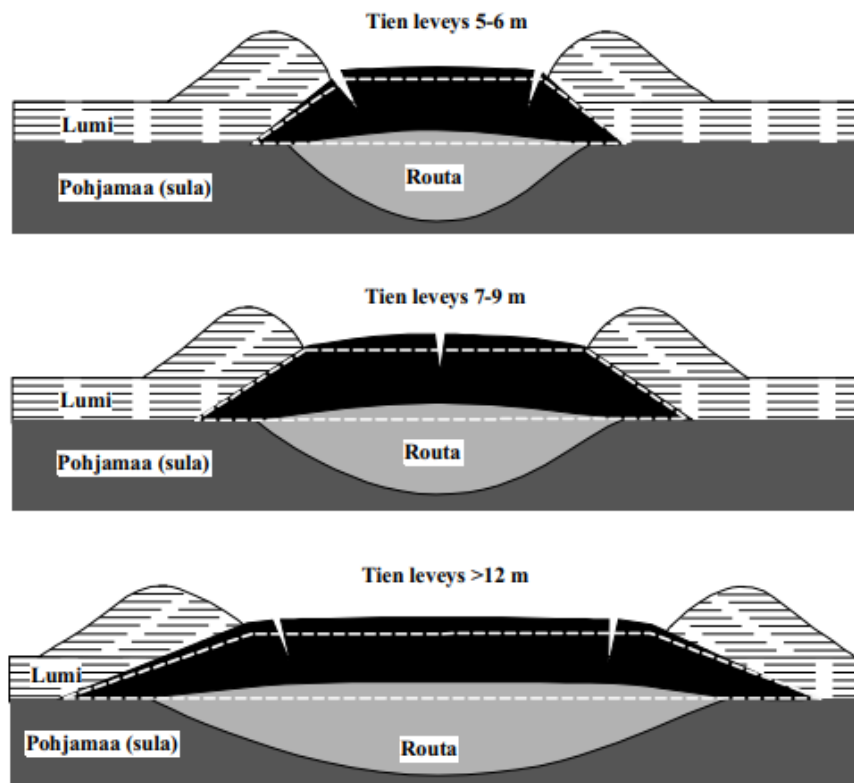
viileämmän kesän vuoksi, jonka aikana lämpöä ei ehdi kertyä maaperään yhtä paljon kuin Etelä-Suomessa. Suuremman maaperään varastoituneen lämmön määrän vuoksi Etelä-Suomessa saman paksuinen päällysrakenne hidastaa roudan etenemistä tierakenteeseen enemmän kuin Pohjois-Suomessa. Tierakenteen routaantuminen muuttaa oleellisesti tierakenteen mekaanisia ominaisuuksia ja aiheuttaa sitä suurempaa routanousua, mitä syvemmälle tai ajallisesti pidempään routaantumista tapahtuu. (Ehrola 1996, s. 82–83, 94, 96)

Talvella routanousujen aiheuttamat tien päällysteen halkeamat voivat olla pituushalkeamia tai muita ajokaistahalkeamia, jotka esiintyvät vinosti, poikkisuuntaisesti tai muuten epämääräisesti tien pituussuuntaan nähden. Halkeamat ulottuvat usein syvälle tierakenteeseen. Halkeamat syntyvät, kun epätasainen routanousu aiheuttaa tien päällysrakenteen yläosaan vetorasituksia, jotka ylittäessään rakenteen lujuuden lopulta aiheuttavat lämpötilan vaikutuksesta kutistuneen tien päällysteen halkeamisen. Lisäksi liikennekuormituksen aiheuttaman väsymisprosessin seurauksena päällysteen jäykkyys on voinut pienentyä ennestään, mikä vaikuttaa päällysteen halkeamisherkkyyteen. (Tiehallinto 2002a, s. 52)

Tie routii epätasaisesti tien poikkileikkauksen suunnassa. Tien reunoille ja sivuoihin talven aikana aurauksen seurauksena kertyneet lumikinokset toimivat tehokkaana lämpöeristeenä, jolloin tien reunaosien routanousu on pienempi kuin tien keskiosan routanousu. (Tiehallinto 2002a, s. 52) Tien reunoilla oleva lumi saattaa aiheuttaa merkittävää routanousueroa myös tien reunaosan ja lähes sulana pysyvän pientareen ulkoreunan välille, jolloin halkeama syntyy tien reuna-alueelle useimmiten päällysteen reunaan (Ehrola 1996, s. 324). Myös rakenteen sisältämä epäjatkuvuuskohta voi aiheuttaa eroja rakenteen routimiskäyttäytymisessä ja aiheuttaa tierakenteen halkeamista (Tiehallinto 2002a, s. 53).

Tien leveys vaikuttaa routanousun aiheuttaman pituushalkeaman sijaintiin tien poikkileikkauksessa, koska tien reuna-alueiden lumikinokset vaikuttavat eri tavalla poikkileikkaukseltaan eri levyisten teiden routaantumiseen ja routimiseen. Kuvassa 28 on esitetty eri levyisten teiden epätasaisen routanousujen aiheuttaminen pituushalkeamien sijainti poikkileikkauksessa. Kapeilla, 5–6 m leveillä teillä pituussuuntaiset routahalkeamat syntyvät useimmiten tien reunoille tien toimiessa ajoradan alueella yhtenäisenä laattana, joka roudan vaikutuksesta nousee ylös tien reunojen pysyessä lähes

paikoillaan. 7–9 m leveillä teillä tien pituushalkeama syntyy useimmiten tien keskialueelle roudan nostaessa tien keskiosaa enemmän ylöspäin kuin tien reunaosia. 11–12 m leveillä teillä tien keskiosan routaantuminen ja routiminen nostavat tien keskiosaa jokseenkin tasaisesti ylöspäin, jolloin tien keskiosalle ei synny routanousueroja ja halkeamia. Lumen eristävä vaikutus ulottuu vain tien laidoille, minkä vuoksi tien reunaosat eivät roudi samassa suhteessa tien reunojen kanssa ja halkeamia syntyy vain tien reunaosiin. (Tiehallinto 2002a, s. 54)



Kuva 28. Tien leveyden vaikutus routanousun aiheuttaman halkeaman muodostumiskohtaan (Tiehallinto 2002a, s. 54)

Routimisolosuhteiden yhdenmukaistamiseksi rakennetun tien levennysosa rakennetaan nykyistä tietä mahdollisimman hyvin vastaavilla materiaaleilla ja kerrospaksuuksilla. Levennyksen ollessa kapea voidaan kaikki routimattomat kerrokset rakentaa samalla hyvin tiivistyväällä murskeella erottamatta eri kerroksia. Levennykselle ei voi asettaa kantavuus- eikä routanousutavoitteita, jos koko tieleveydelle ei tehdä toimenpiteitä, jolloin levennyksen oletetaan toimivan vastaavasti kuin nykyinen tie. Epätasaisen routimisen riskin ollessa suuri kokonaan uusien rakennekerrosten rakentaminen, nykyisen tierakenteen levittäminen uuden rakenteen pohjaksi tai teräsverkkojen käyttö on

suositeltavaa. Rakentamattoman tai kevyesti parannetun tien leventämistä ei suositella ilman merkittävää nykyisen tien purkamista. (Tiehallinto 2005, s. 75–76)

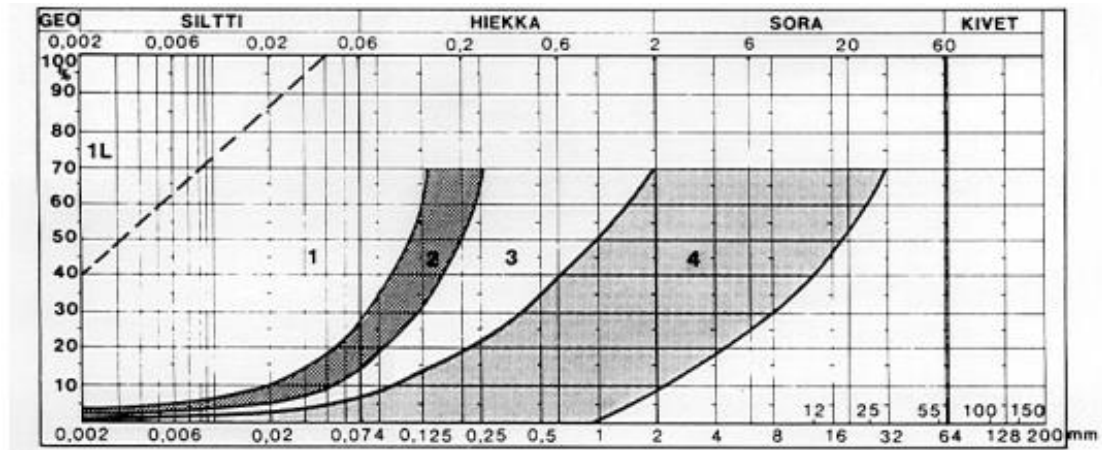
Suunnittelun alussa on tärkeää selvittää nykyisen tien routavauriokohdat ja niiden mahdolliset aiheuttajat. Käytännössä paras keino selvittää nykyisen tien routanousuerojen sijainteja ja haitallisuuden astetta on ajaa suunnitteluosuus läpi keväällä roudan ollessa suurimmillaan ja toisen kerran kesällä roudan sulettua. Ajamalla tehtyä selvitystä tukemaan voidaan käyttää keväällä mitattua IRI-keskiarvoa 10 m matkalta. (Liikennevirasto 2018a, s. 104)

Tien epätasaista routanousua pyritään rajoittamaan suunnittelussa määritettävällä tien sallitulla routanousulla. Tien routanousua rajoitetaan tien pituushalkeamien, suurten routanousujen tai epätasaisen roudan sulamisen aiheuttamien epätasaisuuksien ja halkeamien sekä epätasaisen routanousun välttämiseksi. Tien pinnan sallittavaan laskennalliseen routanousuun vaikuttavat tien vaatimusluokka, pohjamaan tasalaatuisuus ja tien vaurioherkkyys. Tasalaatuisella pohjamaalla routanousu on yleensä tasaista ja sallittu laskennallinen routanousu suurempi kuin sekalaatuisella, epätasaisesti routivalla pohjamaalla tai vaurioherkällä rakenteella. Vaurioherkkiä rakenteita ovat louhetta, solumuovilämpöeristeitä, maabetonia tai viettoviemäreitä sisältävät rakenteet. (Liikennevirasto 2018a, s. 29)

Routanousun suuruuden ja epätasaisuuden rajoittaminen tapahtuu käyttämällä riittävän paksuja rakenteita, lämpöä eristäviä materiaaleja, raudoitettuja päällysrakenteita, siirtymäkiiloja, pohjamaan tasalaatuistamista ja säätelemällä pohjaveden virtausta. Routamitoituksessa määritetään mitoittava roudansyvyys, routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus, päällysrakennemateriaalin vastaavuus eristävyyskannalta, alusrakenteen routaturpoama sekä laskennallisen routanousun suuruus, jota verrataan tielle sallittuun laskennalliseen routanousuun. (Liikennevirasto 2018a, s. 25–26) Tien sallittu routanousu lasketaan tien keskilinjan kohdalle (Hartikainen 2003, s. 93).

Tien routamitoitus tehdään alusrakenteeltaan routiville osuuksille. Routamitoituksella pyritään estämään routimisesta aiheutuvia epätasaisuuksia ja tien pinnan halkeamia lisäämällä päällysrakenteen kestävyyttä tai rajoittamalla routanousun suuruutta ja epätasaisuutta. Yleensä ei kuitenkaan pyritä täysin routanousuttomaan ratkaisuun, vaan tielle sallitaan tietty routanousu tien vaatimusluokan, pohjamaan tasalaatuisuuden ja käytettävän rakennetyypin mukaan. (Liikennevirasto 2018a, s. 25) Kuvassa 29 on esitetty

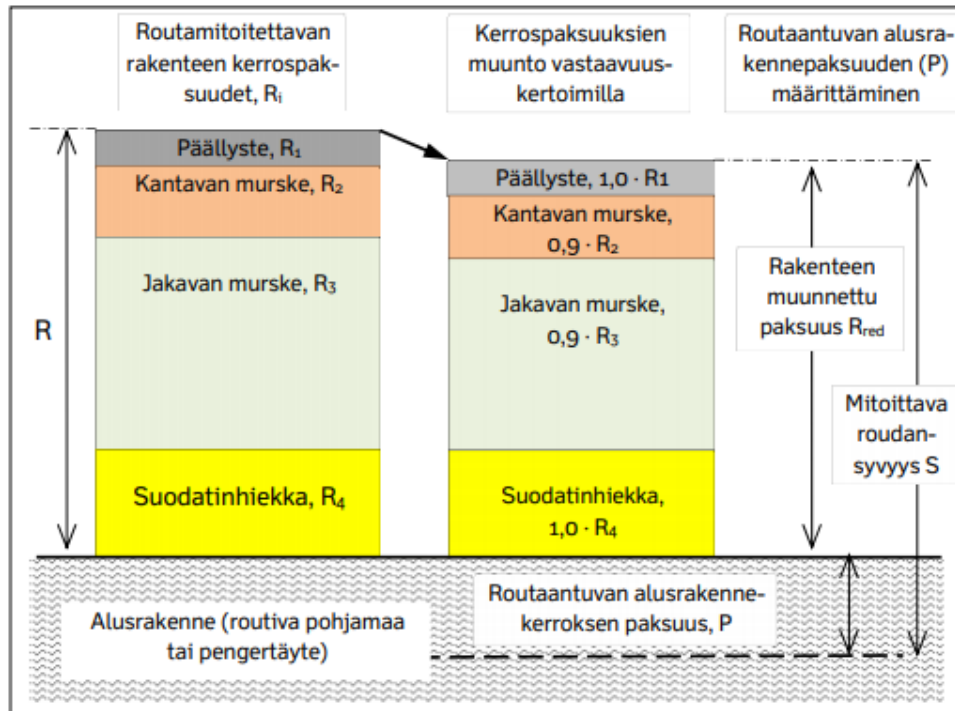
rakeisuusjakaumat pohjamaan maalajin routivuuden arviointiin. Arviointi tehdään maalajin rakeisuuden avulla. Maalaji on routivaa, jos sen rakeisuuskäyrä sijoittuu kuvan alueelle 1 ja lievästi routivaa rakeisuuskäyrän sijoittuessa alueelle 1L. Maalaji on routimatonta, jos sen rakeisuuskäyrä kulkee alueille 2, 3 tai 4 sekä rakeisuuskäyrän alapää pysyy kyseessä olevan alueen ylemmän rajakäyrän alapuolella. (Liikennevirasto 2012, s. 27)



Kuva 29. Maalajin routivuuden arviointi rakeisuuskäyrien raja-alueiden perusteella (Liikennevirasto 2012 s. 27)

Mitoituksen perustapaus tehdään pelkästään hiekasta muodostuvalle rakenteelle. Mitoittava roudansyvyys ilmaisee roudan tunkeutumissyvyyden mitoituslaskena ja se perustuu mitoituslasken pakkasmäärään. Routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus lasketaan vähentämällä mitoittavasta roudansyvyydestä rakenteen laskennallinen, muunneltu kokonaispaksuus. Mitoittava roudansyvyys määritetään hiekan mukaan, jolloin mitoittavan rakenteen todelliset kerrospaksuudet on muunnettava eristävyydeltään hiekkaa vastaaviksi kerrospaksuuksiksi vastaavuuskertoimien avulla.

Kuva 30 on periaatekuva routaantuvan alusrakennekerroksen paksuuden määrittämisestä. (Liikennevirasto 2018a, s. 26–27)



Kuva 30. Routaantuvan alusrakennekerroksen paksuuden määrittäminen (Liikennevirasto 2018a, s. 27)

Rakennekerrokset ovat paksuudeltaan vähintään kuormituskestävyysmitoituksen mukaiset. Kantavuusmitoituksella etsitään riittävät kerrospaksuudet laskennallisen tavoitekantavuuden saavuttamiseksi. Valmiin rakenteen tavoitekantavuuksien toteutuminen ja rakenteen vaatimusten mukaisuus voidaan arvioida laskemalla todettujen kerrospaksuuksien ja materiaalien ominaisuuksien perusteella rakennetun päällysrakenteen kantavuus ja vertaamalla sitä asetettuun kantavuusvaatimukseen. (Liikennevirasto 2018a, s. 43)

Alusrakenteen routaturpoama-arvolla ilmaistaan alusrakenteen routanousuherkkyys eli pohjamaan paksuuden kasvu prosentteina maakerroksen jäätyessä hitaasti. Routaturpoama-arvoon vaikuttavat pohjamaan rakeisuus ja kuivatusolosuhteet. Tien laskennallinen routanousun määrä lasketaan kertomalla routaantuvan alusrakennekerroksen paksuus alusrakenteen routaturpoamalla. Tien routamitoituksessa tien rakennekerrosten oletetaan yleensä olevan routimattomia ja niiden jäätyminen ei oleteta aiheuttavan routanousua, mutta todellisuudessa materiaalit saattavat jäätyessä vähän paisua. Jos rakennekerrosten materiaalien routaturpoama on 3 % tai enemmän, on

sen routanousua lisäävä vaikutus laskennalliseen routanousuun laskettava erikseen. (Liikennevirasto 2018a, s. 28)

Routamitoituksessa tulee tapauskohtaisesti huomioida pohjamaan tasalaatuistaminen ja rakennekerrosten rakentamisaika sekä märän alusrakenteen kuivattaminen ja vaikuttaminen pohjaveden virtauksiin. Pohjamaan tasalaatuistamisessa routivasta pohjamaasta poistetaan halkaisijaltaan yli 0,3 m kokoiset kivet ja eri maalajikerrokset homogenisoidaan sekoittamalla ja tiivistämällä alkuperäiseen tiiveyteen. Tasalaatuistamisessa on huomioitava, että yli 0,5 paksuisen tai kastuneen hienorakeisen kerroksen tiivistäminen voi olla haastavaa. Jälkitiivistymisen vaikutusten pienentämiseksi tasalaatuistetulla tieosuudella sitomattomat kerrokset kannattaa rakentaa nopeasti ja päällysteet mahdollisimman myöhään. Päällysrakenne mitoitetaan sekalaatuisen pohjamaan mukaan, jos tasalaatuistetun pohjamaan tiivistäminen on epävarmaa tai sen tekeminen ei onnistu. Mitoittavan routasyvyyden yläpuolella olevat sarkaojat, routimattomat kaivantotäytteet tai muut vastaavat rakenteet täytetään pohjamaata vastaavalla routivalla maa-aineksella tai niille rakennetaan siirtymäkiilat. (Liikennevirasto 2018a, s. 31)

Märän alusrakenteen routaturpoama ja routanousu ovat suuremmat kuin kuivalla alusrakenteella. Lisäksi alusrakenteen kuivatusolosuhteiden jyrkät muutokset aiheuttavat epätasaista routanousua. Kuivatusrakenteilla on kuitenkin vain vähäinen vaikutus alusrakenteen märkyyteen, sillä routivassa maassa veden kapillaarinen nousukorkeus voi olla useita metrejä, joten esimerkiksi sivuojan syventämisellä metrillä ei juuri ole vaikutusta routaantuvan kerroksen vedensaantiin ja routanousun määrään. Syvät sivuojat lisäävät myös tien keskihalkeaman riskiä. Pohjaveden virtausten tai lähteiden kohdalla tie saattaa pysyä sulana koko talven, kun taas näiden kohtien vieressä voi olla hyvin otolliset olosuhteet routimiselle ja routalinssien muodostumiselle. Myös tien sivukaltevissa kohdissa tien sivulta virtaava vesi voi aiheuttaa sulia kohtia tai routalinssien muodostumista. Voimakkaimmat virtaukset tien alusrakenteeseen on tarkoituksenmukaista katkaista ja kuivattaa syväkuivatusrakenteella. Pohjaveden virtausten ja lähdekohtien lisäksi pohjaveden pintaan pyritään vaikuttamaan, kun halutaan kuivattaa paksu routamitoitettu rakenne pohjaan asti. (Liikennevirasto 2018a, s. 31–21)

3.6 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen

Nykyisen tien ja levennysosan tulisi olla painumaominaisuuksiltaan samankaltaisia. Nykyisen tien ja levennysosan epätasainen painuminen voi aiheuttaa saumahalkeamia erityisesti kohdissa, joissa pohjamaa on pehmeää ja kantavuudeltaan heikkoa, esimerkiksi turvepehmeiköillä (Kuva 31). Epätasainen painuminen johtaa tien reunaosien urautumiseen, minkä vuoksi tien levennysosan ja nykyisen tien välinen sauma halkeaa. Leventämistyössä tavoitteena on, että nykyinen tierakenne ja levennysosa painuvat samalla tavalla rakentamisen jälkeen. (Saarenketo & Varin 2012, s. 7)



Kuva 31. Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen (Saarenketo & Varin 2012, s. 25)

Maanvaraisen rakenteen kokonaispainuma muodostuu alkupainumasta, konsolidaatiopainumasta, sivusiirtymien aiheuttamasta painumasta sekä jälki- tai sekundääripainumasta (Rantamäki et al. 1993, s. 199). Painuminen on maa-aineen kokoonpuristumisesta johtuva ilmiö. Kokoonpuristuminen voi olla kimmoista muodonmuutosta, plastista muodonmuutosta tai konsolidaatiota. Maaperän lähes koko painuma muodostuu yleensä konsolidaatiopainumasta, jonka suuruuteen huokostilalla ja veden määrällä on suuri vaikutus. Maa-aineksen painuminen on siis käytännössä huokostilan pienenemistä, koska kiviaineksen ja veden kimmomoduulien suuruuden vuoksi normaaleilla rasituksilla veden ja kiven tilavuuden muutokset ovat marginaalisia. Painumat eivät myöskään pyri juurikaan palautumaan kivirakeiden lomittumisen, terävien kulmien murtumisen, rakeiden katkeilemisen ja hienorakeisen maan kennojen luhistumisen vuoksi. (Jääskeläinen 2009, s. 119)

Alkupainuma tapahtuu yleensä nopeasti maaperän kuormituksen alkamisesta ja suurin osa alkupainumasta ehtiikin tapahtua rakentamisen aikana. Alkupainuman aiheuttaa kuormituksen aiheuttamat leikkausmuodonmuutokset, joiden yhteydessä maa-alkion kokonaistilavuus kuitenkin pysyy muuttumattomana. Alkupainumat ovat yleensä tiiviissä karkearakeisessa maakerroksessa ja moreenissa hieman pienempiä kuin hienorakeisessa

maakerroksessa. Alkupainumaa voidaan kutsua myös kimmoisaksi painumaksi. (Rantamäki et al. 1993, s. 199) Kimmoisassa muodonmuutoksessa maa-aineksen rakeet eivät liu'u toistensa suhteen ja tilanne palautuu ennalleen rasituksen jälkeen. Maaperän puristumisessa kimmoinen alue on erittäin suppea ja painuma on lähinnä ulkoisen kuormituksen aiheuttamien puristus- ja leikkausjännitysten aiheuttamaa maan jännittymistä ja muodonmuutosta rakeiden kontaktipintojen hieman puristuessa ja kääntyillessä. Kimmoisessa muodonmuutoksessa ei tapahdu huomattavaa tilavuuden muutosta. (Jääskeläinen 2009, s. 118)

Alkupainuma kehittyy koheesiomailla kuormituksen lisäyksen mukaisesti ja leikkausmuodonmuutosten vuoksi maakerros tai -kerrokset muuttavat hieman muotoaan sekä maarakeet liukuvat toistensa suhteen, mutta tilavuus ja vesipitoisuus pysyvät lähes samana lähtötilanteeseen verrattuna. Kitkamailla alkupainuman aikana maa-aineksen huokosissa oleva ilma ja vesi poistuvat, maakerroksen tai -kerrosten tilavuus muuttuu sekä maarakeet siirtyilevät rasituksen alla, eli käytännössä alkupainuman voidaan katsoa olevan jo konsolidaation aiheuttamaa painumaa, jolloin kitkamaan painuma tulee laskea kokonaan joko alkupainumana tai konsolidaatiopainumana. (Jääskeläinen 2009, s. 119)

Konsolidaatiopainuma on hienorakeisen pohjamaan tiivistymistä, jossa maan huokostilavuus ja usein myös vesipitoisuus pienenevät. Konsolidaatiossa rasitettu maa-aines tiivistyy kiviainesrungon pettäessä ja luhistuessa kokoon eikä tiivistynyt kohta palaudu ennalleen rasituksen päättyessä. Karkearakeisissa maakerroksissa konsolidaatiopainuma tapahtuu yleensä nopeasti hyvän vedenläpäisevyyden vuoksi. Hienorakeisissa maakerroksissa konsolidaatiopainuminen on hitaampaa, jos maa on vedellä kyllästetty ja vedenläpäisevyys on huono, mutta määrällisesti suurta hienorakeisen maaperän suuren huokosluvun ja vesipitoisuuden vuoksi. Konsolidaatiopainuma on käytännössä maan plastista muodonmuutosta. (Rantamäki et al. 1993, s. 202) Plastisessa muodonmuutoksessa rakeet liukuvat toistensa suhteen ja rasitetun kohdan sivuille nousee kohoumat, jotka eivät palaudu ennalleen rasituksen jälkeen. Maa-aineksessa tapahtuu muovautumista ja maa-aineksen liikkumista kuormituksen ylittäessä tietyn jännityksen ylittävän paineen. Plastisessa muodonmuutoksessa leikkausjännitykset rasitetussa kohdassa nousevat lähelle murtotilaa ja syntyy murtotilaa lähestyvää myötäämistä, joka voidaan huomioida mitoituksessa riittävän suurella varmuudella murtoa vastaan. (Jääskeläinen 2009, s. 118)

Käytännössä geoteknisessä suunnittelussa konsolidaatiopainuman katsotaan vastaavan valtaosaa maaperän painumisesta ja riittäväksi tiedoksi tilanteesta, mutta tapauskohtaisesti lasketaan lisäksi myös alkupainuma (Jääskeläinen 2009, s. 119). Lisäksi paksuilla savikoilla ja turvepehmeiköillä tapahtuu vuodesta toiseen varsinaisen konsolidaatiopainuman jälkeistä painumista, jota kutsutaan jälki- tai sekundääripainumaksi. Savikoilla sekundääripainuminen on yleensä pientä ja hidasta, mutta turvepehmeiköillä painuminen voi olla määrällisesti isoa ja pitkään jatkuvaa. (Jääskeläinen 2009, s. 120) Turvekerroksen päälle rakennetun penkereen painuminen ei lopu käytännössä koskaan, minkä vuoksi tien painuman arviointi ja aste voi olla hyvin haastavaa. Painuman arviointiin vaikuttaa tiehen kohdistunut kuormitus ja aika, mutta myös turpeen ominaisuudet. (Roadex Network 2021)

Yleisin maa-aineksen kokoonpuristuvuuden mittaustapa on ödometri- eli painumakoe. Painumakokeella saadaan selville maanäytteistä parametreja, joiden avulla voidaan laskea painumien etenemistä ajan funktiona tai painumien suuruutta. Kokoonpuristuvuusparametreja ovat kokoonpuristuvuusmoduuli, kokoonpuristuvuusindeksi, tangenttimoduuli ja muodonmuutosmoduuli. Kokoonpuristuvuusmoduuli on painumalaskujen perusparametri ja ilmenee koetuloksista helposti. Ödometrikokeella saadaan jännitys-muodonmuutuskäyrän tuloksesta tieto maaperän konsolidaatiojännityksestä eli minkä suuruisen jännityksen alaisena maaperä on aiemmin ollut. Yleensä kuormitettava maakerros on maan sisällä lähellä konsolidaatiojännityksen suuruista jännitystä ja painumat tapahtuvat niissä kohdin, missä jännitys ylittää konsolidaatiojännityksen. Näytteen kokoonpuristuvuusmoduuli saadaan jännitys-muodonmuutuskäyrän keskimääräisestä kaltevuudesta ja se ilmaisee konsolidaatiojännityksen ylittävän lisäjännityksen suhteen näytteen suhteelliseen muodonmuutokseen. Käytännössä kuitenkin jännitys ei ole rakennuskohteissa joka kohdassa sama, vaan jännitykset vaihtelevat suuresti paikan ja syvyyden mukaan, minkä vuoksi laskennan tuloksia tulee osata tulkita. (Jääskeläinen 2009, s. 123–125)

Maaperä voi olla joko normaalikonsolidoitunutta, ylikonsolidoitunutta tai alikonsolidoitunutta. Maaperän vallitsevan jännityksen ollessa sama kuin konsolidaatiojännityksen, on maaperä normaalikonsolidoitunutta. Jos taas vallitseva jännitys on suurempi kuin konsolidaatiojännitys, on maaperä ylikonsolidoitunutta. Vastaavasti maaperä on alikonsolidoitunutta konsolidaatiojännityksen ollessa pienempi kuin vallitsevan jännityksen. (Jääskeläinen 2009, s. 125)

Maaperän epätasaiseen painumiseen on todettu olevan vaikutusta kuormituksen aiheuttaman pystysuoran jännityslisäyksen epätasaisella jakautumisella, kuormitusten eroavaisuudella ja muuttumisella, kokoonpuristuvien maakerrosten kokoonpuristuvuusparametrien voimakkaalla vaihtelulla maakerroksissa, kokoonpuristuvien maakerrosten kokonaispaksuuden ja kerrosten osapaksuuksien vaihtelulla ja pohjavedenpinnan alenemisella. Pohjavedenpinnan aleneminen aiheuttaa alentuneen pohjavesipinnan yläpuolella olevan maakerroksen tilavuuspainon aiheuttamaa lisäkuormitusta, joka saattaa ajan saatossa aiheuttaa myös alempien maakerrosten kokoonpuristumista ja siten maapohjan painumista. (Rantamäki et al. 1993, s. 221–223)

Tien painumamitoituksen tavoitteena on määrittää laskemalla tien pinnan tai muun maarakenteen painuminen ajan funktiona niin, että saatujen laskentatulosten perusteella voidaan suunnitella rakenteet ja niiden toteutustapa sellaisiksi, että käyttöaikana tapahtuva painuminen ei aiheuta suunnittelemattomia korjaus- tai ylläpitotoimenpiteitä. Mitoitus koskee kaikkia maanvaraisia rakenteita ja pohjanvahvistustoimenpiteitä. Mitoitus perustuu suunnitteluvaiheen vaatimusten mukaisiin pohjatutkimuksiin, joiden perusteella lasketaan painuman vaikutus tien pituus- ja poikkileikkaussuunnassa tien käyttöaikana, yleensä 5, 10 ja 50 vuoden kohdalla tien käyttöönotosta. Lasketun painumarvion toteutuminen todennetaan suunnitelmassa esitetyllä tavalla painumamittauksilla. (Liikennevirasto 2012, s. 23)

Levitysrakenteen suunnittelussa on tärkeää selvittää nykyisen rakenteen painumisen syy. Painuminen voi olla seurausta päällysrakenteen tai penkereen tiivistymisestä tai pohjamaan konsolidaatiosta tai tiivistymisestä. (Tiehallinto 2005, s. 37) Viitteitä mahdollisista pohjamaan painumista saadaan silmin havaittavista painumakohdista ja päällysteen paikallisista paksummista kohdista, jotka sijaitsevat maaperäkartan mukaisilla pehmeikkömaalajien alueilla. Ainoa keino varmistaa painuman jatkuminen, hidastuminen tai pysähtyminen on tien pinnan tason vaaitus kolmen vuoden välein ennen tien parantamisen suunnittelua. Käytännössä mittaus voidaan toteuttaa esimerkiksi laserkeilauksella. Tien absoluuttisen painuman selvittäminen nykyhetken ja rakentamisen välillä on kuitenkin haastavaa, koska taseus ei ole ehkä toteutunut täsmälleen suunnitelmien mukaisesti. (Liikennevirasto 2018a, s. 104)

Tilaaja asettaa hanke- ja kohdekohtaisesti vaatimukset tien pituus- ja poikkisuuntaisille painumille ja painumaeroille. Kuvassa 32 on esitetty Väyläviraston ohjeen mukaiset suositeltavat painumien raja-arvot, joita voidaan käyttää pohjanvahvistustarpeen arvioinnissa ja mitoituksessa. Tapauskohtaisesti kokonaispainuma-arvoja voidaan joko suurentaa tai pienentää. (Liikennevirasto 2012, s. 23)

<i>Tien vaatimusluokka</i>	<i>Pituuskal- tevuuden muutos 0...50 v⁽²⁾ pk_{soll} 0/50 ≤</i>	<i>Kokonais- painuma 50 v aikana⁽¹⁾ $s_{soll50v}$ ≤</i>	<i>Sivukaltevuuden muutos 50 v aikana⁽²⁾ $sk_{soll50v}$ ≤</i>	<i>Sivukaltevuuden muutos 10 v aikana⁽²⁾ $sk_{soll10v}$ ≤</i>
	<i>[%] yksikköä</i>	<i>[mm]</i>	<i>[%] yksikköä</i>	<i>[%] yksikköä</i>
V1	0,6	300	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V2	0,8	400	± 1,5	-1,0 tai +1,0
V3	1,1	600	± 2,0	-1,0 tai +1,0
V4	1,6	800	± 2,0	-1,0 tai +1,5
V5	2,2	800	± 2,0	-1,5 tai +1,5
R1	0,6	200	± 1,5	-1,0 tai +1,0
R2	0,8	200	± 1,5	-1,0 tai +1,5
R3	1,1	200	± 1,5	-1,5 tai +1,5
K1	2,2	800	± 1,5	-1,0 tai +1,5
K2	Kuten ajorata			

- (1) Kokonaispainuman sallittua arvoa tulee arvioida tämän ohjeen mukaisesti ja sitä täsmentää tarvittaessa. Lisäksi on huomioitava, että usein mitoittavana tekijänä on kaltevuuden muutos.
- (2) Siirtymärakenteiden mitoituksessa käytetään enintään 50 % taulukon pituuskaltevuuden ja sivukaltevuuden muutoksien sallituista arvoista. (Kappale 7.10)

Kuva 32. Suositeltavat painumien raja-arvot (Liikennevirasto 2012, s. 24)

Hyvin paksulla, yli 20 m syvällä pehmeiköllä rakennettaessa sallittua kokonaispainuma-arvoa voidaan suurentaa olosuhteiden ollessa hyvin homogeeniset maan painumaominaisuuksien suhteen ja arvioiden perustuessa laadultaan hyviin ja kattaviin pohjatutkimuksiin. Vastaavasti pehmeikön syvyydessä ollessa voimakasta vaihtelua tai kun pohjaolosuhteita ei ole voitu selvittää luotettavasti, voidaan raja-arvoja tiukentaa. Raja-arvojen tiukentaminen voi tulla kyseeseen myös rakenteen alla tai vieressä olevien johtojen ja laitteiden suojaamiseksi. (Liikennevirasto 2012, s. 23)

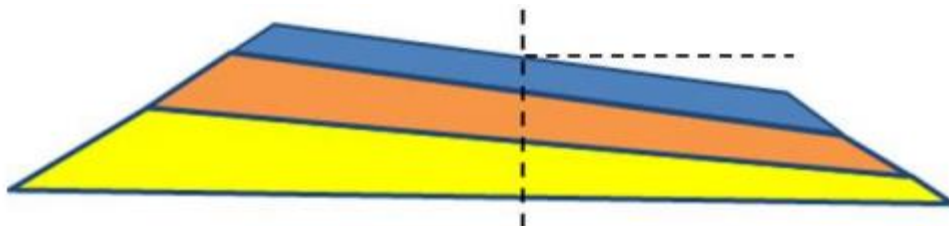
Tien painuminen ja kaltevuusmuutokset eivät saa aiheuttaa tierakenteeseen sijoitettujen kuivatusrakenteiden, kunnallistekniikan, energiaverkkojen ja vastaavien rakenteiden vahingoittumista tai estää pintavesien poistumista tien pinnalta. Muita sallitun painuman ja painumaeron suuruuteen vaikuttavia tekijöitä voivat olla kuivatuksen ja tien

geometrian liikennetekniset vaatimukset, tien rakenteelliset seikat, tien suunniteltu rakenne, suunnitellut pohjanvahvistukset sekä pohjarakenteet. Haitallisten käyttöaikana syntyvien painumien estämiseksi ensimmäisten 10 vuoden aikana tapahtuvan painuman tulisi jäädä laskennallisesti alle 40 %:in 50 vuoden kokonaispainumasta. (Liikennevirasto 2012, s. 24)

Painumamitoituksen tekemiseen on olemassa useita eri ohjelmia ja menetelmiä ja sopivimman menetelmän valitseminen tulee tehdä tapauskohtaisesti. Painumamitoituksen tulosta ja sen luotettavuutta tarkastellaan mitoituksen yhteydessä tehtävässä yhteenvedossa, jossa huomioidaan muun muassa tiedot pohjaolosuhteista, niiden vaihtelusta, maan lujuudesta, vedenläpäisevyydestä ja kokoonpuristuvuudesta, kuormitusta aiheuttavista täytöistä ja pohjavedenpinnan muutoksista sekä painuman vaikutuksista mitoitettavan rakenteen ja mitoitettavan rakenteen ympäristön toimintaan. Tarvittaessa sovelletut raja-arvot tarkistetaan ja dokumentoidaan suunnitteluraporttiin. (Liikennevirasto 2012, s. 25)

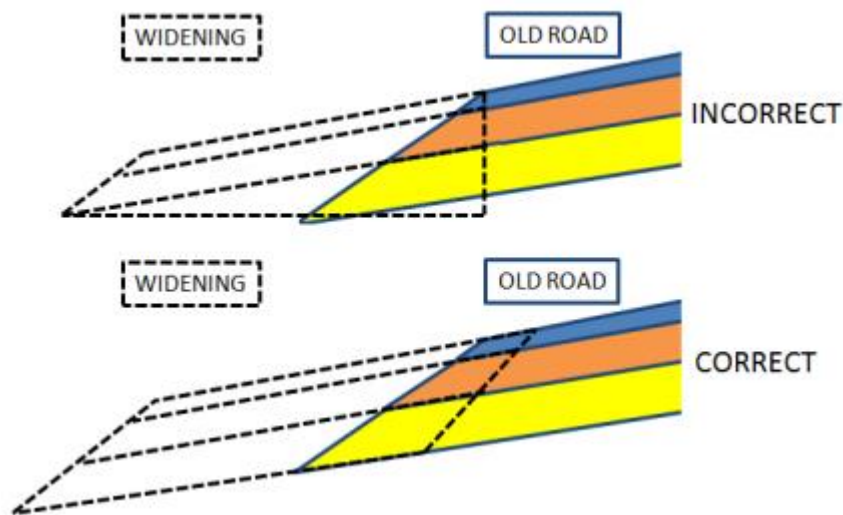
3.7 Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuuden ja materiaalit

Tierakenteiden kerrosmitoitus tehdään tien keskilinjaan kohdalle. Levennysosan sijoittuessa tiellä mutkassa sisäkaarteeseen puolelle on levennysosan rakennepaksuudet usein ohuempia mitä tien keskilinjaan kohdalla (Kuva 33). Vastaavasti rakennepaksuudet ovat paksummat tien ulkokaarteeseen puolella. Sisäkaarteeseen ohuempia rakennepaksuudet ovat kantavuudeltaan keskikohtaa heikommia ja alttiimmia jäätyksen aiheuttamalle routanousulle, mikä voi aiheuttaa levennysosan sauman halkeamisen. Samoin erot nykyisen tien ja levennysosan kerrospaksuuksissa ja materiaaleissa voivat aiheuttaa epätasaisista routanousua ja painumista nykyisen tien ja levennysosan välillä, mikä taas voi johtaa levennyssauman halkeamiseen. Lisäksi raskas liikenne voi kiihdyttää vaurioiden syntymistä. (Saarenketo & Varin 2012, s. 11)



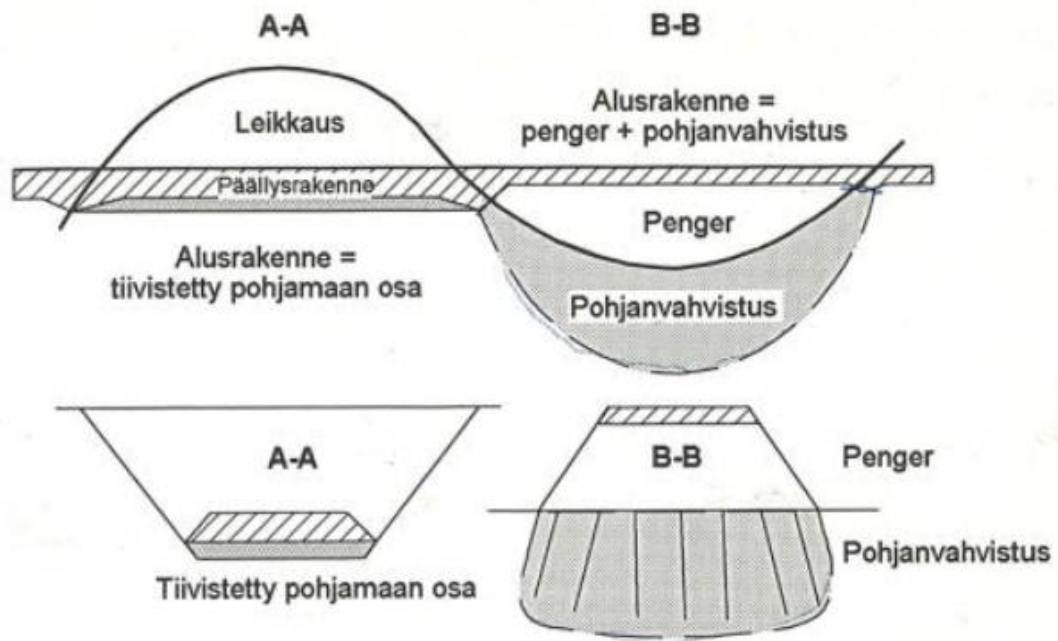
Kuva 33. Tien rakennekerrosten paksuudet kaarteessa (Saarenketo & Varin 2012, s. 11)

Epätasaisten kerrospaksuuksien aiheuttamat ongelmat voivat ilmetä myös levennettäessä penkereen päälle rakennettua tietä sekä tietä, jossa on suuret sivukaltevuudet. Leikattaessa nykyisen tien rakennekerroksia ja kaivettaessa luiskaa auki tulee huomioida nykyisen tien rakennekerrosten paksuus ja ulottuvuus levennysosan kohdalla (Kuva 34). Rakennekerrokset tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että leikkauspohja mukailee nykyisen tien alapinnan muotoa ja rakennekerrosten paksuudet pysyvät samana. Jos rakennekerrosten paksuus tehdään noudattaen nykyisen tien rakennekerrosten paksuuksia vaakatasossa, voi alimmat rakennekerrokset ohentua ja aiheuttaa esimerkiksi kantavuuspuutteita ja epätasaista routimista nykyisen tien ja levennysosan välillä. (Saarenketo & Varin 2012, s. 21)



Kuva 34. Penkereen päälle rakennetun tien leikkaus ja rakennekerrokset (Saarenketo & Varin 2012, s. 21)

Tierakenteen kerroksia ovat alusrakenne, sitomattomat tai stabiloidut kerrokset sekä päällystekerrokset (Liikennevirasto 2018a, s. 11). Kuvan 35 mukaisesti alusrakenne voi olla leikkauksen kohdalla tiivistetty pohjamaa, penkereen kohdalla pengertäyte, pohjanvahvistusmenetelmä tai leikkaus- tai pengerluiska (Ehrola 1996, s. 13). Jokaisella rakennekerroksella on oma tehtävänsä tien toiminnan kannalta. Alusrakenteen tehtävä on muodostaa riittävän tasalaatuinen, kantava ja painumaton alusta tien päällysrakenteelle. Alusrakenteen laatu määrää jakavan kerroksen ja suodatinkerroksen tarpeellisuuden. Aina kun alusrakenne on routivaa, tarvitaan tierakenteeseen suodatinkerros. (Tiehallinto 2002a, s. 11) Aiemmin ohjeiden mukaan alusrakenteen ollessa turvetta on turpeen ja tien rakennekerrosten väliin rakennettu eristyskerros (Ehrola 1996, s. 139).



Kuva 35. Tien alusrakenteet ja päällysrakenteet (Ehrola 1996, s. 13)

Päällysrakenteen tehtävä on ottaa vastaan liikenteen kuormitukset ja jakaa ne alusrakenteelle mahdollisimman tasaisesti laajalle alueelle, sekä rajoittaa ja pienentää routanousuja (Tiehallinto 2002a, s. 11). Päällysrakenne voidaan jakaa joustaviin, puolijäykkiin ja jäykkiin päällysrakenteisiin niissä käytettyjen materiaalien mukaan. Joustavissa päällysrakenteissa päällysrakenne on bitumilla sidottu rakenne ja kantava kerros on joko bitumilla sidottu rakenne tai sitomaton rakenne. Puolijäykissä päällysrakenteissa päällyste on bitumilla sidottu kerros ja joko kantava tai jakava kerros tai molemmat ovat hydraulisella sideaineella sidottuja rakenteita. Jäykissä päällysrakenteissa sekä kulutuskerros että kantavat kerrokset muodostuvat betonilaatasta. (Ehrola 1996, s. 13–14)

Sitomattomat tien rakennekerrokset ovat suodatinkangas, suodatinkerros, routaeriste, jakava kerros ja kantava kerros. Yleensä kaikkia edellä mainittuja kerroksia ei ole samassa tierakenteessa, vaan rakenne suunnitellaan ja mitoitetaan tapauskohtaisesti liikenteen, käytettävien materiaalien ja alusrakenteen laadun mukaan. (Liikennevirasto 2018a, s. 11) Suodatinkerros katkaisee veden kapillaarisen nousun rakenteen ylempiin kerroksiin, estää päällysrakenteen sekoittumisen alusrakenteeseen eli pohjamaahan sekä kasvattaa routimatonta päällysrakennepaksuutta, mikä vähentää alusrakenteen routimisesta johtuvia routanousuja. Kantava kerros voi olla myös sidottu kerros ja päällystekerros voi sisältää joko yhden tai useamman päällystekerroksen tielle asetettujen vaatimusten mukaisesti. (Tiehallinto 2002a, s. 11)

Jakava ja kantava kerros muodostavat päällysteelle niin kantavan eli jäykän alustan, etteivät liikennekuorman aiheuttamat rasitukset kasva liian suuriksi päällysteessä sekä jakavat liikennekuormat niin, etteivät alusrakenteen rasitukset muodostu liian suuriksi (Tiehallinto 2002a, s. 12). Suodatinkerroksen päälle tulevalla jakavalla kerroksella pyritään myös kuivattamaan tierakennetta jakavan kerroksen toimiessa kapillaarikatkona päällysrakenteen yläosalle ja ohjaamalla rakenteeseen suotautuneet vedet tien sivulle (Ehrola 1996, s. 140). Päällystekerros eli kulutuskerros muodostaa tielle turvallisen, miellyttävän ja taloudellisen pinnan ajaa sekä vettä pidättävänä kerroksena minimoi kosteuden pääsyn rakenteeseen tien pinnan kautta (Tiehallinto 2002a, s. 12).

Jakava ja kantava kerros voidaan tapauskohtaisesti tehdä yhtenä kerroksena kantavan kerroksen materiaalista (Tiehallinto 2002a, s. 12). Kantava kerros voidaan tehdä myös yhtenä sitomattomana kerroksena tai kahtena kerroksena siten, että kerroksen yläosa on sidottu rakenne ja alaosa sitomaton. Kantavan kerroksen sidottu yläosa tehdään kantavan kerroksen asfalttibetonista ja sitomaton alaosa murskatusta kiviaineesta. (Ehrola 1996, s. 140–141) Perusero sidottujen ja sitomattomien kerrosten välillä on sidottujen kerrosten kyky vastaanottaa vetorasituksia, mikä taas puuttuu sitomattomilta kerroksilta. Sidottujen kerrosten jäykkyys myös pienentää liikennekuorman alempiin sitomattomiin kerroksiin aiheuttamia pystysuoria jännityksiä ja jakavat jännitykset laajemmalle alueelle. Käytännössä kerroksen jäykkyys vaikuttaa niin, että mitä jäykempi kerros on, sitä laajemmalle alueelle alempiin kerroksiin se välittää rasituksia, mikä taas pienentää tierakenteeseen kohdistuvia enimmäisrasituksia. (Tiehallinto 2002a, s. 12)

Liikenteen muodostama liikennekuormitus aiheuttaa jokaisella ylityskerralla tierakenteeseen taipumia, jännityksiä ja muodonmuutoksia. Tierakenteen toiminnan kannalta kriittisimpiä tekijöitä on todettu olevan sidotun rakennekerroksen alareunaan syntyvän vetojännityksen ja alusrakenteen yläpintaan syntyvän pystysuoran puristusjännityksen. Tien rakennekerrosten toimiessa suunnittelusta poikkeavana ei-yhtenäisenä rakenteena voi kriittiset jännitykset muodostua muuallekin tierakenteeseen. Kuormitukset ovat kriittisiä silloin, kun ne kasvavat tierakenteen materiaalien vastaavia ominaisuuksia suuremmiksi. (Ehrola 1996, s. 135)

Sidottujen kerrosten alareunan vetojännitysten kasvaessa sidottujen päällystekerrosten ominaisuuksia suuremmiksi riski sidotun kerroksen väsymishalkeamiin kasvaa. Alusrakenteeseen pysyviä muodonmuutoksia aiheuttaa alusrakenteeseen kohdistuva

pystyjännitys. Myös muihin tien sitomattomiin rakennekerroksiin saattaa syntyä suuria pysyviä muodonmuutoksia liikennekuormituksen aiheuttamien jännitysten ollessa liian suuria materiaalien ominaisuuksiin nähden. Oikein toimiva tien päällysrakenne jakaa kuormitukset alemmille rakennekerroksille ja alusrakenteelle rakenteiden kuormituskykyä ylittämättä ja liian suuria pysyviä muodonmuutoksia aiheuttamatta. Kuormitusten jakautuminen riippuu rakenteen jäykkyydestä, koska jäykkä rakenne jakaa kuormitukset laajemmalle alueelle kuin huonosti kantavan rakenne. (Ehrola 1993, s. 135–136)

Sidotun päällystekerroksen jäykkyyden tulee olla tasapainossa alla olevien rakennekerrosten jäykkyyden kanssa, mikä tarkoittaa käytännössä sitä, että päällysteen alustan tulee olla riittävän jäykkä päällysteen jäykkyyteen nähden. Päällysteen jäykkyyden kasvaessa puristusjännitys alusrakenteen pinnassa pienenee ja vetojännitys sidottujen kerrosten alapinnassa kasvaa. Alusrakenteen routiminen aiheuttaa päällysrakenteeseen alhaalta ylöspäin suuntautuvan kuormituksen. Routimisen päällysteelle aiheuttamia vaurioita voitaisiin välttää riittävän joustavalla päällysrakenteella, mutta käytännössä se ei ole mahdollista liikenteen tierakenteelle aiheuttaman kuormituksen vuoksi, joten routanousuja pyritään rajoittamaan routamitoituksella määritettävillä riittävän paksuilla rakennekerroksilla. (Ehrola 1996, s. 136–137)

Kuormituskestävyysmitoituksella pyritään estämään raskaan liikenteen aiheuttama päällysteiden halkeilu ja pysyvät muodonmuutokset tien rakennekerroksissa ja pohjamaassa. Kuormituskestävyysmitoituksessa lasketaan kuormituskertaluku, määritetään kuormitusluokka, päällysteen vähimmäispaksuus, tavoitekantavuus ja alusrakenteen kantavuus, valitaan rakennekerrosten materiaali, määritetään materiaalien mitoitusmoduulit sekä mitoitetaan päällysrakenteen kerrospaksuudet tavoitekantavuuteen Odemarkin kaavan avulla. (Liikennevirasto 2018a, s. 33)

Kuormituskertaluku kuvaa raskaan liikenteen aiheuttamaa rasitusta ja se ilmaistaan standardiakselien ylityskertojen lukumääränä sovitun laskenta-ajan aikana. Käytännössä raskaiden ajoneuvojen akseleiden lukumäärä ja akselimassat vaihtelevat, minkä vuoksi erityyppisille ajoneuvoille on määritetty keskimääräiset vastaavuuskertoimet kuormitusvastaavuus tai kuormitusekvivalentti. Kertoimet ilmaisevat kyseisen ajoneuvon

tai ajoneuvotyyppin standardiakselia vastaavan rasitusvaikutuksen. (Liikennevirasto 2018a, s. 34)

Kuormituskertaluku lasketaan ajosuunnittain ja perustapauksessa kaksikaistaisella tiellä raskaan liikenteen oletetaan jakautuvan tasaisesti molempiin ajosuuntiin. Poikkeuksen tekee tiet, joiden vaikutusalueelle rakennetaan uusi raaka-ainelähde tai raaka-aineen käyttäjä, jolloin toinen ajosuunta sisältää runsaasti raaka-ainekuljetuksia ja täyteen kuormattuja ajoneuvoja ja toinen ajosuunta taas ilman kuormaa kulkevia ajoneuvoja. Useita kaistoja samaan suuntaan sisältävillä teillä raskaan liikenteen oletetaan käyttävän tien oikeanpuoleista jatkuvaa ajokaistaa eli peruskaistaa. Raskaan liikenteen rasitusvaikutukseen vaikuttavat ajolinjojen hajonta sekä ajolinjan etäisyys tien reunasta, minkä vuoksi kaiteiden on todettu ohjaavan raskaan liikenteen rasitusta samaan kapeaan ajouraan. (Liikennevirasto 2018a, s. 34)

Kuormituskertaluvun määrittämisessä käytetään leveyskerrointa, mikä valitaan kaistan ja viereisen pientareen yhteysleveyden sekä tien sisäluiskan kaltevuuden mukaan. Tien sisäluiskan kaltevuus vaikuttaa rakenteen kestävyYTEEN. Määrittämisestä varten selvitetään ennusteet liikenteen kokonaismäärästä ja raskaan liikenteen määrästä 10 vuoden kuluttua tien liikenteelle otosta. Lisäksi arvioidaan raskaan liikenteen jakautuminen yhdistelmäajoneuvoihin ja muihin raskaisiin ajoneuvoihin. Laskentatapa valitaan sen mukaan, onko käytettävissä luotettavat liikennemäärät ja mikä on raskaan liikenteen määrän jakautuminen ajosuunnittain. Myös vuoden 2013 ajoneuvouudistuksen vaikutus on huomioitava määrittämisessä. (Liikennevirasto 2018a, s. 38)

Symmetrisillä kaksikaistaisilla teillä kuormitusluokka on kummallakin ajokaistalla sama, poikkeuksena tiet, joilla raskaan liikenteen osuus toiseen ajosuuntaan on suurempi kuin toiseen. Useampikaistaisilla teillä tien peruskaistan rakenne ulotetaan viereiselle pientareelle tai ajokaistalle vähintään 0,25 m. Peruskaistan kuormitusluokka on sama kuin ajokaistakohtainen ajosuunnittain määritetty kuormitusluokka. Peruskaistaa alempia kuormitusluokkia käytetään peruskaistan oikealla puolella olevien liittymien välisten sekoituskaistojen ja vähintään 100 m pituisten tasoliittymien kääntymiskaistojen sekä peruskaistojen vasemmalla puolella olevien saman suunnan ajokaistojen, ramppien ja niihin liittyvien erkanemis- ja liittymiskaitojen, vähintään 2,5 m levyisten leveiden pientareiden ja oikealle kääntymiseen tarkoitettujen ajokaistojen mitoituksessa. Vähintään 2,5 m levyinen, peruskaistan oikealla puolella oleva piennar tai muu ajokaista

mitoitetaan kuten peruskaista, jos tiellä varaudutaan tien leventämiseen tai keskikaiteen rakentamiseen tai varaudutaan raskaan liikenteen sallimiseen pientareella. (Liikennevirasto 2018a, s. 38–39)

Kantavuusmitoitus tehdään kerroksittain alhaalta ylöspäin. Alusrakenteen kantavuuden ollessa pienempi kuin 35 MPa, suunnitellaan yleensä suodatinkerros, jonka päältä saavutetaan noin 35 MPa kantavuus. Rakennekerrosten väliin asennetaan tarvittaessa suodatinkangas rakennekerrosten materiaalien sekoittumisen estämiseksi. Suodatinkerroksen päälle mitoitetaan jakava kerros, jonka päältä saavutetaan noin 90 MPa kantavuus. Jos alusrakenteen kantavuus on vähintään 35 MPa, voidaan jakavan kerroksen mitoitus aloittaa suoraan alusrakenteesta. Jakavan kerroksen päälle suunnitellaan kantava kerros, jolla saavutetaan tien kuormitusluokan vaatimusten mukainen tavoitekantavuus, sekä tehdään kuormitusluokan vaatimusten mukainen päällyste. Mitoituksessa käytettävien sitomattomien kerrosten ja sidottujen päällysrakennekerrosten E-moduulit valitaan käytettävän materiaalin perusteella. Materiaalien vastaavuus suunniteltuihin materiaaleihin on varmistettava aina rakennusvaiheessa. (Liikennevirasto 2018a, s. 43)

Rakennekerrosten vedenläpäisevyyden paraneminen alaspäin mennessä ja vesitiiviin pohjamaan etäisyys tien pinnasta vaikuttavat päällysrakenteen kuormituskestävyyden säilymiseen. Raskaan ajoneuvon aiheuttama, nopeasti sitomattomissa kerroksissa liikkuva paineaalto nostaa nopeasti huokosvedenpainetta, mikä voi vaurioittaa päällystettä, jos paine ei pääse purkautumaan alaspäin. Jos vesi ei pääse talvella poistumaan alaspäin vaan se pääsee päällysteen huokosten tai halkeamien läpi tien rakenteeseen, päällysrakenteen murskeeseen tai vesitiiviin kerroksen pintaan voi syntyä jäälinsejä. (Liikennevirasto 2018a, s. 50) Nykyisen tien kantavan kerroksen huono laatu onkin usein syynä tien rakenteen vaurioihin, minkä vuoksi kantavan ja muiden sitomattomien kerrosten laatu ja paksuus on syytä selvittää osana tien leventämissuunnittelua. Erityisesti on tutkittava rakennekerrosten hienoainespitoisuus ja vedenimukyky nykyisen tien ollessa vaurioitunut tai deformoitunut nopeasti. (Liikennevirasto 2018a, s. 102)

Vedenläpäisevyyden parantamiseksi päällysrakenteeseen ei saa jättää päällystekerrosta alle 0,5 m etäisyydelle tien pinnasta murskekerroksen alle, poikkeuksena betonikivipäällyste, jolloin vesitiiviin päällysteen alle tehdään ohut asennushiekkakerros.

Ehto arvioidaan erilaisten stabilointien ja uusiomateriaalien osalta materiaalityypeittäin, kun materiaalin ja päällysteen välissä on sitomattomia kerroksia. Lisäksi vesitiiviiden stabilointien päällä käytetään suolattavilla teillä vesitiivistä päällystettä sekä vesitiiviin pohjamaan kohdalla käytetään vähintään 0,5 m paksuista päällysrakennetta. Vesitiiviin alusrakenteen ollessa kalliota, kallio irtilouhitaan. (Liikennevirasto 2018a, s. 50)

3.8 Levennysosan jälkitiivistyminen

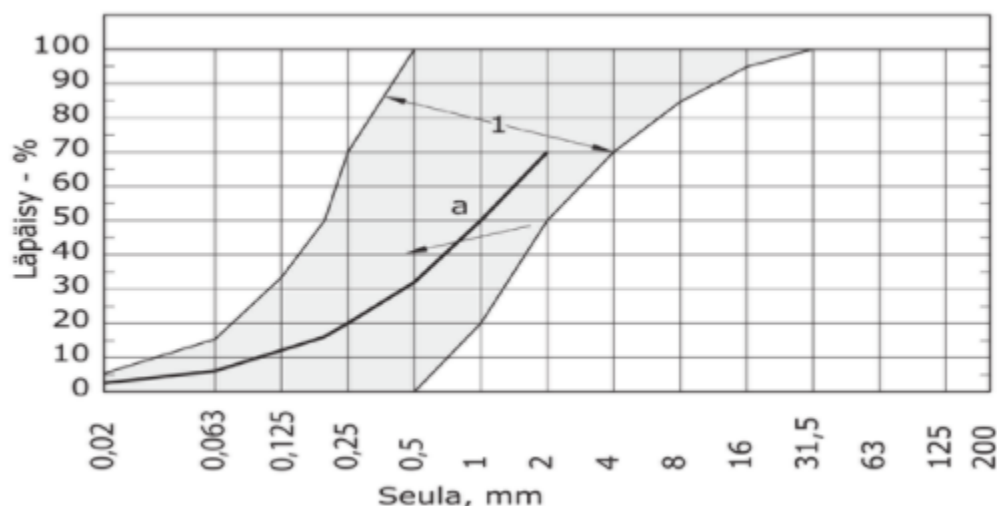
Tien leventämiskohtaan voi syntyä 1–3 vuoden kuluessa rakentamisesta alusrakenteen ja päällysrakenteen jälkitiivistymistä. Levennysosan jälkitiivistyminen voi aiheuttaa tien painumia ja uria, jotka näkyvät portaana ja halkeamana tien levennyssaumassa. Jälkitiivistymisestä aiheutuvia painumia pyritään vähentämään välttämällä vaikeasti tiivistettäviä materiaaleja ja hankalia työleveyksiä. (Liikennevirasto 2018a, s. 114)

Yleensä kuormituskestävyyden ja routamitoituksen suhteen levennysosan rakennekerroksista tehdään nykyistä tierakennetta vastaavat. Tarvittaessa tien päällystyspaksuutta voidaan kuitenkin kasvattaa tai nykyisen tien rakenteita parantaa tielle asetettujen vaatimusten täyttämiseksi. Nykyisen tierakenteen paksuuden vaihdelta lyhyin välein tien pituussuunnassa, tehdään levennysosan rakennepaksuus keskimäärin saman paksuiseksi kuin nykyisen tien rakennekerrokset, mutta paksuusvaihtelu vähäisemmäksi. Levennysosan päällysrakenteen paksuus saa poiketa enintään 20 % nykyisen tien rakennepaksuudesta. Siirtymäkiilat rakennetaan nykyisiä siirtymäkiiloja vastaaviksi. Nykyisen ohuen pientareen muuttuessa raskaan liikenteen ajokaistaksi, tulee nykyisen tien yläosaa purkaa. (Liikennevirasto 2018a, s. 112)

Nykyisen tien rakennekerrosten materiaaleista ja paksuuksista voidaan poiketa rakennustyön helpottamiseksi ja jälkitiivistymien välttämiseksi tapauskohtaisesti. Poikkeustapauksissa nykyisen tien sorakerros voidaan korvata murskeella, ohut hiekkakerros suodatinkankaalla ja murskeella ja karkea louhe pienlouheella. Päällysrakenteen yläosassa sora tai murske voidaan korvata betonimurskeella, sementtistabilointi tai muu huonosti uutena liikennettä kestävä hydraulinen stabilointi muulla rakennekerroksella tai bitumistabilointi kantavuudeltaan vastaavalla murskeen ja päällystelisäpaksuuden yhdistelmällä. Jos levennettävän tierakenteen alaosan hiekka korvataan murskeella, ei materiaalien erilaista roudaneristävyttä kompensoida

mitoituksessa roudan tunkeuman ollessa tien reunoilla hieman pienempi kuin tien keskellä. (Liikennevirasto 2018a, s. 112)

Tierakenteen suodatinkerroksen materiaalina käytetään luonnonkiviainesta tai uusiomateriaalia, jonka rakeisuus on kuvan 36 mukaisella alueella 1. Käytettävä materiaali päätetään hankekohtaisesti. Suodatinkerrosmateriaali ei saa sisältää savea eikä haitallisia epäpuhtauksia, kuten humusmaata silmämääräisesti arvioiden. Suodatinkerroksen paksuuden ollessa alle 0,5 m on suurin sallittu raekoko 31,5 mm. Yli 0,5 m paksuissa suodatinkerroksissa raekooltaan 31,5–200 mm rakeita sallitaan enintään 5 paino-%. Tarvittaessa pohjamaan ja suodatinkerroksen väliin asennetaan suodatinkangas pohjamaan ja suodatinkerroksen materiaalien sekoittumisen estämiseksi. (InfraRYL 2020b)



Kuva 36. Suodatinkerroksen materiaalin rakeisuusvaatimus (InfraRYL 21110.1.1)

Tierakenteen jakava kerros rakennetaan kalliomurskeesta, luonnon sorasta, soramurskeesta tai uusiomateriaalista. Käytettävä materiaali päätetään hankekohtaisesti. Jakavan kerroksen materiaali ei saa sisältää savea eikä haitallisia epäpuhtauksia, kuten humusta tai orgaanisen aineksen kappaleita. Materiaalin on oltava teknisiltä ominaisuuksiltaan soveltuvaa käyttökohteeseen ja riittävän tasalaatuista. (InfraRYL 2020c)

Tierakenteen sitomaton kantava kerros rakennetaan kalliomurskeesta, soramurskeesta tai uusiomateriaalista. Käytettävä materiaali päätetään hankekohtaisesti. Materiaali ei saa sisältää epäpuhtauksia tai ympäristölle haitallisia aineita, se ei saa olla rapautunutta tai rapautumisherkkää ja sen pitää kestää jäätymis-sulamisrasituksia. Käytettävän

materiaalin on oltava teknisiltä ominaisuuksiltaan soveltuvaa käyttökohteeseen ja riittävän tasalaatuista. (InfraRYL 2020d)

Rakennetun tien leventämisessä tilaaja voi antaa tien nykyisen rakenteen paksuuden ja materiaalin mukaan määräytyvän toteutusratkaisun urakoitsijalle. Urakoitsija valitsee sidottujen kerrosten materiaalin, sivukaltevuuskorjausten toteutusmenetelmän sekä nykyisen ja uuden rakenteen toisiinsa liittämisen toteutustavan. (Tiehallinto 2005, s. 15)

Tien rakennekerroksissa käytettävät materiaalit vaikuttavat rakennekerrosten ominaisuuksiin. Hienoainespitoisuus vaikuttaa päällysrakenteessa käytettävän materiaalin routivuuteen ja lähtökohtaisesti tien päällysrakenteessa käytettävät materiaalit oletetaan routimattomaksi. Liian suuri hienoainespitoisuus on erityisen haitallista päällysrakenteen kantavassa kerroksessa. Talvella kerrokseen voi syntyä routanousua, jonka sulaminen nopeuttaa tien deformatumista ja erityisesti ohuen päällysteen halkeilua. Kesällä kerroksen kyllästymisen vedellä huonontaa kerroksen dynaamisten kuormien kestävyttä, mikä taas nopeuttaa tien deformatumista ja päällysteen vaurioitumista. Märkanä aikana korkea hienoainespitoisuus pienentää kerroksen E-moduulia, kun taas kuivana aikana E-moduuli voi olla suunniteltua suurempi. Liian suuren hienoainespitoisuuden omaavaa kantavaa kerrosta ei voi korvata muita kerroksia paksuntamalla, mutta hienoaineksen vaikutus voidaan eliminoida stabiloimalla kerros tai sekoittamalla siihen sepeliä. Vesitiiviillä päällysteellä voidaan hidastaa vaurioitumisen alkamista halkeamien syntymiseen saakka. (Liikennevirasto 2018a, s. 50–51)

Jakavan kerroksen sallittua suurempi hienoainespitoisuus voi aiheuttaa kerroksen lievää routimista sekä alentaa E-moduuliarvoa, mikä voidaan korvata paksuntamalla ylempiä rakennekerroksia. Liikaa hienoainesta sisältävän suodatinhiekkakerroksen epätasaista routanousua voidaan pienentää rakenteen tehokkaalla kuivattamisella. Jakavan kerroksen ja suodatinhiekkakerroksen suuri hienoainespitoisuus ei heikennä tien kuormituskestävyyttä yhtä paljon kuin kantavassa kerroksessa. Hienoainespitoisuus voi nousta rakenteessa, jos stabiloiduilla osuuksilla hienoaines ei sitoudu suunnitellulla tavalla tai sidokset ovat purkautuneet vuosien kuluessa rakenteeseen päässeeseen suolaveden ja toistuvien sulamis-jäätymissykliä vaikutuksesta. Hydraulisesti stabiloidun materiaalin moduuli tai pieni routaturpoama perustuu sementin, kalkin tai sitoutuvan tuhkan tuottamiin sidoksiin. Stabiloinnin säilyvyyttä voidaan parantaa vesitiiviillä päällysteellä.

Hienoainespitoisempaa moreenia on mahdollista käyttää jakavassa kerroksessa, kun tien kuormitusluokka on enintään 2,0, pohjamaan veden kapillaarinen nousu estetään vähintään 200 mm paksuisella suodatinkerroksella sekä veden nousu sivuojista rakenteeseen estetään riittävän syvillä ja viettokaltevilla sivuojilla. (Liikennevirasto 2018a, s. 50–51)

Käytettävien suodatinkerroksen, jakavan ja kantavan kerrosten materiaalien kelpoisuus osoitetaan CE-merkinnällä, suoritustasoilmoituksella ja rakeisuuden tutkimustuloksilla tai, jos tuotetta ei voi CE-merkitä, tehdään laadunvarmistus standardin SFS-EN 13242 ja InfraRYL -julkaisun mukaisesti (InfraRYL 2020b; InfraRYL 2020c; InfraRYL 2020d). Suodatinkerroksen materiaalin rakeisuus tulee tutkia riittävän tiheästi vaatimustenmukaisuuden varmistamiseksi. Tutkimukset tehdään kerran 5000 tonnia kohden tai kerran viikossa materiaalia otettaessa tai hankittaessa, riippuen kumpi vaatimus täyttyy ensin. Suodatinkerroksen suositeltavimmat tiivistämistyön laaduntarkkailumenetelmät ovat säteilymittaus, mittaava jyrä ja pistemäiset varmistusmittaukset. Suodatinkerroksen keskimääräinen tiiviysastevaatus tierakenteessa on 92 % ja pienin sallittu yksittäinen koetulos 90 %. Säteilymittausta käytettäessä tiiviysastetta tarkkaillaan keskimäärin 200 m välein kullakin ajoradalla ja mittaavaa jyrää tai pistemäisiä varmistusmittauksia käytettäessä 500 m välein. (InfraRYL 2020b)

Jakavan kerroksen materiaalin valmistaja suorittaa tyyppitestaukset ja tehtaan sisäistä laadunvalvontaa tuotteelle asetettujen vaatimuksien täyttämiseksi. Jakavan kerroksen suositeltavimmat tiivistämistyön laaduntarkkailumenetelmät ovat levykuormitus- ja pudotuspainolaite sekä mittaava jyrä ja pistemäiset varmistusmittaukset. Jakavan kerroksen ollessa ohut, voidaan jakava ja kantava kerros yhdistää ja tehdä jakava kerros kantavan kerroksen materiaalista. Tiivistystyö on tehtävä mahdollisimman pian materiaalin levittämisen jälkeen. Tiiveysvaatus jakavalle kerrokselle on keskimäärin 95 % ja pienin sallittu yksittäinen koetulos 92 %. Jakavan kerroksen kantavuus varmistetaan levykuormituslaitteella tai pudotuspainolaitteella keskimäärin 100 m välein kullakin ajoradalla jakavan kerroksen päältä tai kantavan kerroksen päältä, jos mittauksista jakavan kerroksen päältä ei voida tehdä sulan maan aikaan. Jos mittauksessa saatu kantavuus on vaatimusta pienempi, tarkistetaan kerroksen tiivistämistyö, materiaali, rakennekerroksen paksuus, rakenteen mitoitus ja mitoituksen lähtötiedot, joiden perusteella tehdään korjaustoimenpiteet. Työ- ja laaduntarkkailusuunnitelmissa on

otettava huomioon täryjyrien ja muiden maan värähtelyjä aiheuttavien koneiden vaikutus. (InfraRYL 2020c)

Kantavan kerroksen materiaalin valmistaja suorittaa tyyppitestaukset ja tehtaassa sisäistä laadunvalvontaa tuotteelle asetettujen vaatimusten täyttämiseksi. Kantavan kerroksen enimmäisraekoko on enintään 1/3 kerralla tehtävän kerroksen paksuudesta ja se valitaan kuormitusolosuhteiden mukaan. Tiivistystyön jälkeen materiaalin sallittu hienoainespitoisuus ei saa ylittyä, minkä vuoksi materiaali olisi hyvä valita niin, että ennen tiivistämistä materiaalin hienoainespitoisuus on jonkin verran sallittua pienempi. Liikaa jyräys voi aiheuttaa myös rakennekerrosten löyhtymistä. Levennysrakenteiden suunnittelussa tiiveyssuhdevaatimus asetetaan määrääväksi liiallisen tiivistämisen aiheuttaman kantavan kerroksen hienonemisen riskin vuoksi. Etenkin kapeissa leventämisissä vaaditun kantavuuden saavuttaminen tiivistämisellä on haastavaa, minkä vuoksi tiiveyssuhdevaatimus on määräävämpi. Sitomaton kantava kerros tehdään yhtenä kerroksena tai, jos kiviainesta joudutaan lisäämään esimerkiksi virheellisen korkeustason tai epätasaisuuden vuoksi, sekoitetaan jo tiivistetty sitomaton kantava kerros lisäkiviaineksen kanssa siten, että uudelleentiivistettävän kerroksen paksuus on vähintään kaksi kertaa kiviaineksen enimmäisraekoko. (InfraRYL 2020d)

Tien rakennusmateriaalien jännityksen ja muodonmuutoksen välinen riippuvuus on epälineaarinen, jolloin materiaalien kimmomoduuli eli E-moduuli ei ole vakio vaan se riippuu jännitystasosta. Kimmomoduulin ja jännitystason välisen yhteyden mukaan materiaalit voidaan jakaa myötöpehmeneviin ja myötölujittuviin materiaaleihin. Jännitystason kasvaessa myötöpehmenevillä materiaaleilla kimmomoduuli eli vastustus muodonmuutoksia vastaan pienenee. Vastaavasti myötölujittuvilla materiaaleilla kimmomoduuli ja sitä kautta vastustus muodonmuutoksia vastaan kasvaa jännitystason noustessa. Myötöpehmeneviä materiaaleja ovat hienorakeiset koheesiomaalajit ja myötölujittuvia materiaaleja karkearakeiset kitkamaalajit. (Ehrola 1996, s. 174)

Käytännössä mitä suurempi on liikenteen aiheuttama kuormitus tien hienorakeiseen alusrakenteeseen, sitä pienemmällä jäykkyydellä eli kimmomoduulilla alusrakenteen materiaali toimii. Tien alusrakenteeseen kohdistuva kuormitus taas riippuu tien päällysrakenteen jäykkyydestä, eli mitä jäykempi tien päällysrakenne on, sitä pienemmän kuormituksen liikenne aiheuttaa alusrakenteelle. Myös rakenne itsessään aiheuttaa eroja saman materiaalin toimintaan, esimerkiksi päällysteen joustavuus vaikuttaa päällysteen

alla olevien materiaalien jäykkyyteen sekä kantavan kerroksen yläosassa materiaali toimii jäykempänä kuin kerroksen alaosassa. Materiaalien moduuleja määritettäessä on siis huomioitava käyttöolosuhteiden aiheuttamat jännitystilat kokonaisuutena. (Ehrola 1996, s. 174, 179)

4 HAASTATTELUTUTKIMUS

Tutkimuksen alussa tutkimusstrategisia valintoja ohjaa tutkimuksen tarkoitus tai tehtävä, tutkimuskysymys, millä määritellään, onko tutkimuksella tarkoitus kartoittaa, selittää, kuvailla vai ennustaa tutkittavaa asiaa. Kartoittavassa tutkimuksessa katsotaan mitä tapahtuu, etsitään uusia näkökulmia ja löydetään uusia ilmiöitä, selvitetään vähän tunnettuja ilmiöitä sekä kehitetään hypoteeseja. Selittävässä tutkimuksessa taas etsitään selitystä yleensä kausaalisten suhteiden muodossa tilanteelle tai ongelmalle sekä tunnistetaan todennäköisiä syy-seurausketjuja. Kuvailevassa tutkimuksessa etsitään tarkkoja kuvauksia henkilöistä, tapahtumista tai tilanteista ja dokumentoidaan ilmiöistä keskeisiä, kiinnostavia piirteitä. Ennustavassa tutkimuksessa taas pyritään ennustamaan ilmiön seurauksena olevia tapahtumia tai ihmisten toimintoja. (Hirsjärvi et al. 2009, s. 138–139) Tässä työssä tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa eli selvittää tien leventämistrakentamisen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuskysymystä käsitellään tien levennyshankkeen eri vaiheiden mukaisesti.

Tutkimuksen päätyyppi voi olla empiirinen tai teoreettinen tutkimus. Empiirisessä tutkimuksessa tutkimuksen keskiössä ja tutkimuksen tekemisen lähtökohtana on konkreettinen ja koottu tutkimusaineisto. Tutkimuskohteesta tehdyt konkreettisen havainnot ja tutkimuskohteen analysointi ja mittaaminen tuottavat empiirisen tutkimuksen tutkimustulokset. Teoreettisessa tutkimuksessa taas tutkimuskohteita ei havainnoida välittömästi, vaan kohteesta pyritään hahmottamaan käsitteellisiä malleja, selityksiä ja rakenteita aiemman tutkimuskirjallisuuden pohjalta. (Jyväskylän yliopisto, 2014) Tämä työ on empiirinen tutkimus, jonka vaiheita ovat Hirsjärven ja Hurmeen (2008, s.14) mukaisesti alustavan tutkimusongelman asettaminen, aiheeseen perehtyminen ja ongelman täsmennys, aineiston keruu ja analysointi sekä johtopäätösten tekeminen ja raportointi.

Tutkimuksen menetelmäsuuntaus eli lähestymistapa on yleensä kvalitatiivinen eli laadullinen tutkimus tai kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus. Tutkimuksessa voi olla myös piirteitä molemmista menetelmäsuuntauksista, jolloin lähestymistapa voi olla näiden yhdistelmä. Laadullisessa tutkimuksessa keskeistä on tutkimuksen tiedon hankinnan luonteen kokonaisvaltaisuus, aineiston keruu luonnollisista, todellisista tilanteista, ihmisten käyttö tiedon keruun instrumentteina, induktiivisen analyysin käyttö tulosten tulkinnassa, laadullisten metodien käyttö aineiston hankinnassa, kohdejoukon

valitseminen tarkoituksenmukaisesti, tutkimussuunnitelman muotoutuminen tutkimuksen edetessä sekä tapausten käsittely ainutlaatuisina ja aineiston tulkinta sen mukaan. Määrällisessä tutkimuksessa keskeistä taas on aiempien tutkimusten johtopäätökset, aiemmat teoriat aiheesta, hypoteesien esittäminen, käsitteiden määrittely, koejärjestelyjen ja aineiston keruun suunnittelu niin, että havaintoaineisto soveltuu määrälliseen mittaamiseen, koehenkilöiden tai tutkittavien henkilöiden valinta tarkasti, muuttujien taulukoiminen ja aineiston saattaminen tilastollisesti käsiteltävään muotoon sekä päätelmien teko havaintoaineistosta tilastollisella analysoinnilla. (Hirsjärvi et al. 2009, s. 140,164) Tässä työssä on piirteitä molemmista menetelmäsuuntauksista, mikä näkyy muun muassa aiemman teorian tiedon hyödyntämisen, aineiston keruun ja analysoinnin toteuttamisessa.

Tutkimusstrategialla eli tutkimustyyppillä määritellään tutkimuksessa käytettävien tutkimusmenetelmien kokonaisuus, jolla tutkimustulos voidaan saavuttaa. Kolme perinteistä tutkimusstrategiaa ovat kokeellinen tutkimus, survey-tutkimus ja tapaustutkimus. Kokeellisessa tutkimuksessa mitataan yhden käsiteltävän muuttujan vaikutusta toiseen muuttajaan tarkasti määritellyissä ja kontrolloiduissa olosuhteissa eri koejärjestelyjen avulla sekä tavallisesti testataan hypoteeseja. Survey-tutkimuksessa tietoa kerätään standardoidussa muodossa joukolta ihmisiä, tavallisesti kyselylomakkeella tai strukturoidulla haastattelulla, ja tulosten perusteella pyritään kuvaamaan, vertailemaan tai selittämään tutkittavaa ilmiötä. Tapaustutkimuksessa kerätään yksityiskohtaista, intensiivistä tietoa yksittäisestä tapauksesta tai pienestä joukosta toisiinsa suhteessa olevista tapauksista useilla metodeilla, kuten haastatteluilla ja aineistojen tutkimisella tutkittavan ilmiön kuvaamiseksi. Tämän työn tutkimusstrategia on survey-tutkimuksen ja tapaustutkimuksen yhdistelmä, jossa aineisto kerätään haastatteluilla sekä perehtymällä aiempiin tutkimustuloksiin ja teoriaan. Kokeellinen ja survey-tutkimus ovat kvantitatiivisen tutkimuksen perinteisiä tutkimustyyppiejä ja tapaustutkimus niin kvantitatiivisen kuin kvalitatiivisen tutkimuksen tutkimustyyppi. (Hirsjärvi et al. 2009, s. 134–136, 191) Tutkimustyyppi voidaan nähdä tutkimuksen strategiana ja analyysityyppi taktiikkana (Hirsjärvi & Hurme 2008, s. 153).

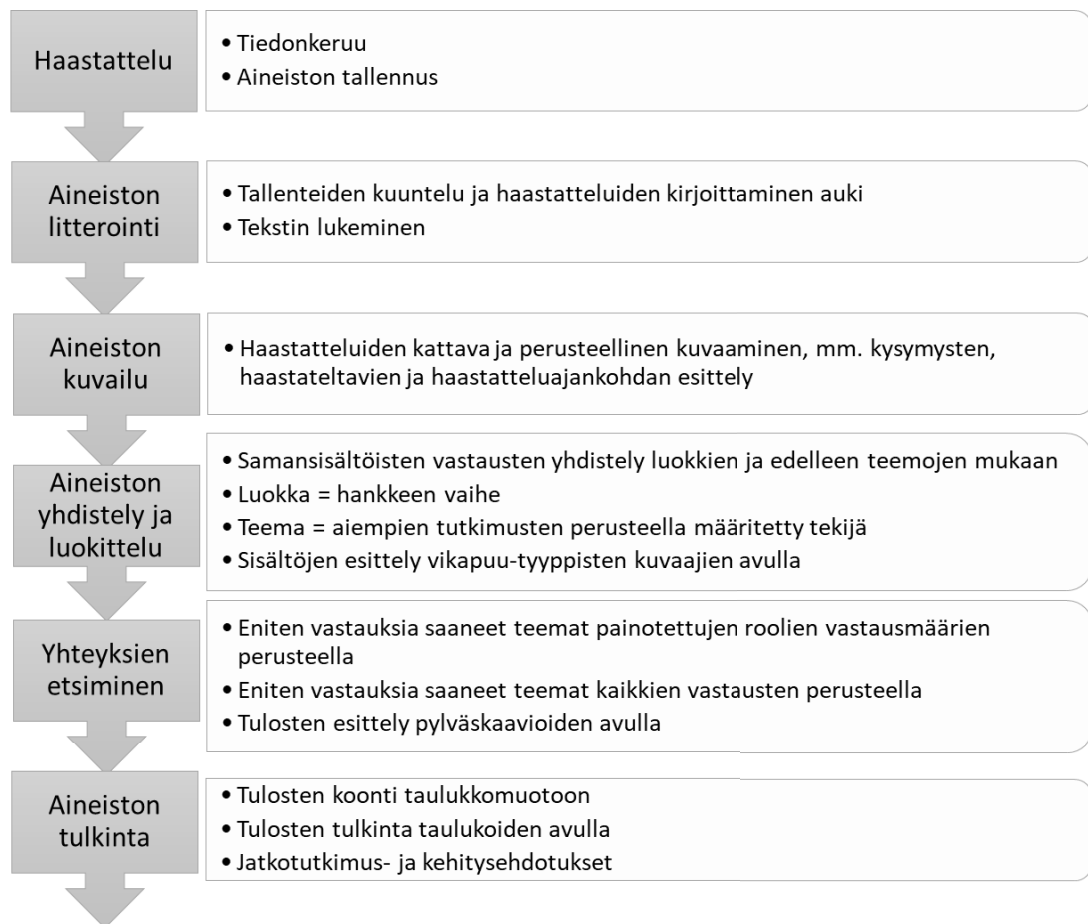
Aineistonhankintamenetelmän valintaan vaikuttaa tutkimuksen havaintojen keräämisen tavoitteet ja käytännöt, eli minkälaista tietoa etsitään ja keneltä tai miten sitä etsitään. Sama aineistonkeruumenetelmä voi soveltua usean eri tutkimusstrategian toteuttamiseen, joten on tärkeää tiedostaa eri menetelmien edut ja rajoitukset, jotta voidaan valita

tutkimustehtävään ja tutkimusstrategiaan soveltuva menetelmä. Menetelmän valinnassa on hyvä huomioida käytettävä aika ja muut voimavarat sekä eettiset seikat. Aineistonhankinnan perusmenetelmiä ovat kysely, haastattelu, havainnointi ja olemassa olevan aineiston käyttö. (Hirsjärvi et al. 2009, s. 183–186) Tässä työssä aineiston keruu tehdään tutkimushaastattelun avulla.

4.1 Haastattelututkimuksen prosessikuvaus

Tutkimushaastattelu on ymmärrettävä systemaattisena tiedonkeruumuotona, jossa haastattelijalla on ohjat ja tavoitteet saada mahdollisimman luotettavia ja päteviä tietoja tutkittavasta ilmiöstä. Haastattelu voidaan jaotella haastattelutilanteen muodollisuuden ja kysymysten asettelun ja tarkkuuden mukaan strukturoituun haastatteluun, teemahaastatteluun ja avoimeen haastatteluun. Strukturoitu haastattelu tapahtuu lomakehaastatteluna, jossa kysymysten ja väitteiden muoto ja esitysjärjestys on tarkkaan määrätty. Teemahaastattelu on strukturoidun ja avoimen haastattelun välimuoto, jossa haastattelun aihepiirit ovat tiedossa, mutta kysymysten muoto ja järjestys ovat vapaampia. Avoin haastattelu on eniten keskustelumuotoinen haastattelu, jossa haastattelijä selvittää haastateltavan ajatuksia, mielipiteitä, tunteita ja käsityksiä keskustelun kuluessa. (Hirsjärvi et al. 2009, s. 208–210) Tämän työn haastattelu toteutettiin teemahaastatteluna, jossa oli etukäteen laadittu kysymysrunko, mutta haastattelutilanne oli lähempänä keskustelua kuin yksittäisiin kysymyksiin vastaamista.

Tutkimushaastattelu voidaan toteuttaa usealla eri tavalla. Kuvassa 37 on kuvailtu tämän työn tutkimushaastattelun ja aineiston käsittelyn kulku haastattelusta aineiston tulkintaan. Haastattelun lajeja ovat muun muassa kyselyhaastattelu, yksilöhaastattelu, ryhmäkeskustelu, kertomushaastattelu, asiantuntijahaastattelu ja puhelinhaastattelu. Asiantuntijahaastattelussa henkilöä haastatellaan sen tiedon vuoksi, jota hänellä oletetaan olevan tutkittavasta ilmiöstä tai prosessista. Puhelinhaastattelussa taas maantieteellinen sijainti ei aiheuta estettä haastattelulle ja tunnelma voi olla vapautuneempi haastateltavan ja haastattelijan ollessa etäällä toisistaan. Haastattelun toteuttamisessa tulee huomioida ainakin haastattelun kohderyhmä, haastatteluiden määrä, haastattelun eettisyys, haastattelukysymysten luonne, haastattelutilanne sekä haastattelun analyysimenetelmä. (Hyvärinen et al. 2009, s. 18–42, 229–230, 282) Tämän tutkimuksen haastattelut ovat asiantuntijahaastatteluita, jotka toteutettiin Teams-etyhteyden välityksellä. Haastateltavat henkilöt määräytyivät tilaajan valitsemien kohteiden mukaan.



Kuva 37. Haastattelututkimuksen prosessikuvaus

Tutkimuskysymys vaikuttaa koko haastatteluprosessiin, niin aineiston käsittelyyn, menetelmien valintaan kuin tulkintaan ja johtopäätöksiin. Haastattelutulosten käsittely alkaa aineiston esitöillä, missä aineisto tarkistetaan, täydennetään ja järjestetään. (Hirsjärvi et al. 2009, s. 221–222) Seuraavaksi haastattelutulokset litteroidaan tutkimuskysymyksen määrittämällä tarkkuudella. Tärkeää on tunnistaa, mitä haastattelulla on tavoitteena tutkia, eli onko tarpeen litteroida vain puheen sisältöä vai tarvitaanko implisiittisempiä piirteitä. Myös oman tieteenalan käytännöt sekä analyysitapa voivat vaikuttaa litteroinnin tarkkuuteen. Aineisto anonymisoidaan litteroinnin aikana, jotta siitä ei muodostu henkilörekisteriä eikä yksittäistä haastateltavaa ole mahdollista tunnistaa haastatteluvastauksista. Litterointi tehdään valitun analyttisen lähestymistavan eli analyysityypin vaativalla tarkkuudella. Tutkimuskysymys ja valittu analyysitapa myös määrittelevät, onko koko haastatteluaineisto tarpeellinen tutkimustulosten kannalta, vai käsitelläänkö vain tiettyjä osia. (Hyvärinen et al., s. 427–438) Tässä työssä aineiston litterointi aloitettiin haastattelun aikana kirjaamalla ylös tukisanoja, joita täydennettiin kuuntelemalla haastattelut uudelleen. Haastattelut

anonymisoitiin litterointivaiheessa, jolloin haastatteluvastauksista tuli ilmi enää haastateltavan rooli.

Aineiston litteroinnin jälkeen tekstiä luetaan, jotta siitä tulee tuttua ja analysointi mahdollistuu syvemmälle tasolle. Aineiston lukemisen jälkeen alkaa itse analyysivaihe. Laadullisen tutkimuksen analyysi muodostuu yleisesti aineiston kuvailusta, luokittelusta, yhdistelystä ja tulkinnasta, mutta jokaisella tutkimustyypillä on muista tyypeistä erottava ominaispiirteensä. Aineiston kuvaileminen on perusta analyysille ja se voidaan toteuttaa monella eri tavalla. Yleensä tarkoituksena on kuvata kattavasti ja perusteellisesti tutkittavana kohteena oleva ilmiö kartoittamalla henkilön, kohteen tai tapahtuman ominaisuuksia tai piirteitä. Aineiston luokittelussa tutkittava ilmiö jäsenellään vertailemalla aineiston eri osia toisiinsa tutkimustehtävän, aineiston laadun ja tutkijan oman teoreettisen tietämyksen ja kyvyn käyttää sitä tietoa muodostavien kriteerin mukaan. Luokittelun valmistuttua on syytä pohtia luokittelun onnistuneisuutta tutkimusongelman kautta ja tarvittaessa uudelleen pilkkoa ja yhdistellä uusia luokkia. (Hirsjärvi & Hurme 2008, s. 143–149) Tässä työssä haastattelututkimuksella saatu aineisto kuvaillaan esittelemällä haastattelun aihe ja kysymykset, haastatteluajankohta ja haastateltavien roolit sekä määrät. Haastatteluvastausten luokittelu tehdään tien leventämishankkeen eri vaiheiden mukaisesti.

Laadullista aineistoa voidaan käsitellä niin tilastollisten tekniikoiden kuin perinteisempien analyysimenetelmien, kuten teemoittelun, tyypittelyn, sisällönanalyysin, diskurssianalyysin tai keskusteluanalyysin avulla. Aineiston analyysitapa valitaan sen mukaan, mikä parhaiten vastaa tutkimusongelmaan tai -kysymykseen. Analyysitavat voidaan jakaa karkeasti selittämiseen pyrkivään ja ymmärtämiseen pyrkivään lähestymistapaan. Erityisesti laadullisen tutkimuksen analyysi voidaan kokea haasteelliseksi eri analyysimenetelmien runsauden, sääntöjen väljyyden, aineiston suuren koon ja elämänläheisyyden vuoksi. Haastatteluaineiston käsittely, esiin tulevien ilmiöiden järjestely, merkitysten etsiminen ja vastauksien oikein tulkitseminen saattaa viedä aikaa viikoista kuukausiin. Aineistoon voi olla myös hyvä ottaa ajallista etäisyyttä kokonaisuuden hahmottamiseksi ja perspektiivin laajentamiseksi. (Hirsjärvi et al. 2009, s. 224–225) Tässä työssä pyritään selittämään tien levennysrakenteen onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Seuraava vaihe on aineiston yhdistely ja analyysi, jossa yritetään löytää vastausten välille joitakin säännönmukaisuuksia tai samankaltaisuuksia, sekä säännönmukaista vaihtelua tai muista poikkeavia tapauksia. Yhdistely voidaan tehdä luokkien mukaan, jotka voidaan nimetä olemassa olevilla teoreettisilla käsitteillä, luomalla itse ilmiötä hyvin kuvaavia käsitteellisiä termejä tai sijoittamalla vastaukset tutkimuskysymyksen mukaiseen kehykseen. Laadullisen analyysin keinoina voidaan käyttää esimerkiksi laskemista, asteikointia, teemoittelua tai yhteyksien tarkastelua. Teemoittelussa tarkastellaan aineistosta nousevia piirteitä, jotka ovat yhteisiä usealle haastateltavalle. Teemat voivat pohjautua teemahaastattelun teemoihin, joiden lisäksi tulee esille useita muita teemoja. Teemojen tunnistamisessa ja tulkitsemisessa haastattelijalla on tärkeä rooli, koska haastateltavat eivät yleensä ilmaise samaa asiaa täysin samoilla sanavalinnoilla. (Hirsjärvi & Hurme 2008, s. 143–152, 169–173) Tässä työssä aineisto yhdistellään jakamalla vastaukset luokkiin eli tien eri hankkeiden osa-alueiden mukaan siten, mihin hankkeen eri vaiheeseen haastateltava on vastauksensa osoittanut. Yhdistelyn jälkeen vastaukset jaetaan hankkeen eri vaiheen sisälle sijoitettujen teemojen mukaan, jotka ovat muodostettu aiempien Roadexin tutkimustulosten perusteella. Tietyn teeman sijoittaminen tiettyyn hankkeen vaiheeseen on tehty sen perusteella, missä vaiheessa teeman mukaiseen tekijään voidaan katsoa olevan eniten vaikutusta. Käytännössä teeman mukainen tekijä voi liittyä yhteen tai useampaan hankkeen eri vaiheeseen eikä teemoittelu ole siten täysin aukoton, joten tässä tutkimuksessa teemoittelun jako on ymmärrettäväkin lähinnä aineiston hallinnan keinona ja yhtenä näkökulmana lähestyä tutkittavaa asiaa.

Yhteyksien tarkastelun voidaan ajatella olevan jatkumoa mille tahansa aineiston yhdistelyn esittämistavalle. Aineistosta esiin tulevien seikkojen yhteyksiä voidaan tarkastella tyypittelyn, ääriyhmien analyysin tai poikkeavien tapausten analyysin avulla. Tyypittelyssä tapauksia analysoimalla pyritään ryhmittelyyn tiettyjen yhteisten piirteiden perusteella. Ääriyhmätarkastelussa muodostetaan yhden tietyn keskeisen seikan tai seikkojen yhdistelmän suhteen kaksi tai useampia toisilleen vastakkaista ryhmää, joiden avulla voidaan tarkastella muita tutkimuksessa olevia keskeisiä seikkoja. Poikkeavien tapausten analyysin avulla aineisto nähdään uudesta näkökulmasta ja tehdyt yleistykset voidaan joutua kyseenalaistamaan. Tutkijan on tärkeää ymmärtää löydetty yhteydet niin empiirisinä ilmiöinä kuin teoreettisesti. (Hirsjärvi & Hurme 2008, s. 143–152) Tässä työssä aineiston tyypittely tehdään jakamalla vastaukset sisällön ja haastateltavan vastaukselle osoittaman hankkeen vaiheen mukaan.

Jotta aineiston analyysi ei jää vain löydettyjen luokkien ja yhteyksien kuvailemiseksi, tehdään viimeisenä analyysin vaiheena aineiston tulkinta. Haastattelututkimuksessa tulkintaan on monia eri tapoja ja näkökulmia, joita kuitenkin yhdistää tutkijan tuottaman tulkinnan ja lukijan tulkitseman tulkinnan yhteneväisyys. Tulkintaa ohjaa tutkimuksessa etsityt ja löydettyt seikat sekä tulkittavan tekstin tyyppi. Tulkinta auttaa hahmottamaan ilmiötä kokonaisvaltaisesti ja laajentaa tutkimuskohteesta saatavaa kuvaa. Käytännössä lukija ei saa luettavakseen tutkimuksessa tehtyä haastattelua, vaan tutkijan tekemän tulkinnan tutkittavasta ilmiöstä. Haastattelututkimuksen laadullisesti analysoidun aineiston tulokset ja tulkinnat voidaan tutkimustyyppistä riippumatta esittää usealla eri tavalla, kuten tekstinä, numeroina, kuvina ja kuvioina tai eri tapojen yhdistelmänä. Esittämisen tavat ovat myös analyysin apuvälineitä, eikä kaikkia esitetä lopullisessa raportissa. (Hirsjärvi & Hurme 2008, s. 169, 174–176) Tämän tutkimuksen tulosten tulkinnan apuna käytetään hierarkkisia vikapuu-tyyppisiä kuvaajia, joissa on jaoteltuna tien leventämishankkeen mukaisesti pääteemat ja niihin liittyvät alateemat. Tulkinnan tavoitteena on selittää, miksi haastatteluissa esiin tulleet tekijät voivat vaikuttaa tien leventämistrakenteen onnistumiseen. Eri osapuolten määrällisen vaihtelun vuoksi jokaiselle osapuolelle lasketaan painokerroin, jonka avulla lasketaan tuloksen painotetut arvot, jolloin vastaukset ovat keskenään vertailukelpoisia.

4.2 Haastatteluaineisto

Haastattelut toteutettiin teemahaastatteluina Teams-etäyhteyden välityksellä. Haastateltavia oli yhteensä 14 kpl, joista rakennuttajia 4 kpl, suunnittelijoita 8 kpl ja rakentajia 2 kpl. Suunnittelijoiden osuus on rakennuttajiin ja rakentajiin verrattuna suurempi, koska haastateltavana oli niin tie- kuin geosuunnittelijoita. Tiesuunnittelijoita haastateltavista oli 6 kpl ja geosuunnittelijoita 2 kpl. Yksi haastattelu kesti keskimäärin yhden tunnin.

Yhteydenotto haastatteluiden ajanvaraukseen tehtiin sähköpostilla tai puhelinsoitolla. Viikkoa ennen haastattelua haastatteli lähetti haastateltavalle haastattelun ennakkomateriaalin, joka oli haastattelun kysymysrunko, haastattelun suostumusasiakirja sekä tieteellisen tutkimuksen tietosuojailmoitus. Kysymysrunko oli muodostettu tien parantamishankkeen eri vaiheiden mukaan. Haastattelukysymysten muodostamisen avuksi määritettiin tutkimuskysymyksen avulla pääongelma ja osaongelmat, jotka on esitetty taulukossa 1. Nämä pääongelma ja osaongelmat tulee ymmärtää tässä työssä

varsinaisten haastattelukysymysten muodostamisen apukysymyksinä, joiden avulla hahmotettiin paremmin tutkittavaa asiaa, eikä niitä käsitellä tai analysoida laajemmin. Haastattelukysymysrunko on esitetty liitteessä 1. Kysymysrungossa kysymykset etenevät yleisesti hankkeesta rooleihin ja edelleen yksittäisiin tekijöihin. Yksi kysymys käsittelee tilaajan määrittämiä kohteita, joiden perusteella haastateltavat valittiin. Haastateltavilla oli mahdollisuus vastata tien leventämisen suunnitteluun ja rakentamiseen yleisesti sekä haastateltavaa koskevan kohteen mukaan. Haastattelun kysymysrunгон tavoitteena oli ohjata keskustelua ja jättää tilaa avoimelle keskustelulle.

Taulukko 1. Haastattelukysymysten muodostamisen apuna käytetyt tutkimuskysymys ja osaongelmat

Ongelma	Kysymys
Tutkimuskysymys	Mitkä tekijät vaikuttavat tien levennysosan saumakohdan halkeamiseen?
Osaongelma	Miten hankeprosessi voi vaikuttaa leventämisrakenteen onnistumiseen?
Osaongelma	Miten hankkeen eri osapuolet voivat vaikuttaa leventämishankkeen onnistumiseen?
Osaongelma	Miten eri vaiheessa tehdyt valinnat voivat vaikuttaa levennysrakenteen onnistumiseen, esim. aikataulun laatiminen, suunnitteluratkaisut, materiaalivalinnat, laadunvalvonta?
Osaongelma	Miten tehtyjen ratkaisujen vaikutukset ovat havaittavissa toteutuneessa kohteessa?

Ennen haastattelua haastateltava lähetti allekirjoitetun suostumusasiakirjan haastattelijalle. Haastattelu perustui vapaaehtoisuuteen, jolloin haastateltavan oli mahdollista kieltäytyä haastattelusta ja häntä koskevan aineiston käyttämisestä missä vaiheessa tutkimusta tahansa. Suostumusasiakirjalla saatiin kirjallinen suostumus haastatteluun osallistumisesta sekä haastatteluaineiston käsittelystä ja säilytyksestä. Haastattelija tallensi suostumuslomakkeet omalle tietokoneelleen, samoin kuin haastattelutallenteet. Haastattelu tehtiin Teams-etäyhteyden välityksellä, joka tallentaa nauhoitetut tallenteet Stream-palveluun. Haastattelun jälkeen haastattelija siirsi haastattelutallenteen Stream-palvelusta omalle koneelleen, jolloin haastattelutallenne on vain yhdessä kohteessa tallennettuna. Haastatteluun liittyvää aineistoa säilytetään siihen saakka, kunnes diplomityö on valmis, jonka jälkeen aineisto tuhotaan. Tuhoaminen tarkoittaa käytännössä tallenteiden ja kaiken haastatteluaineiston poistamista haastattelijan tietokoneelta.

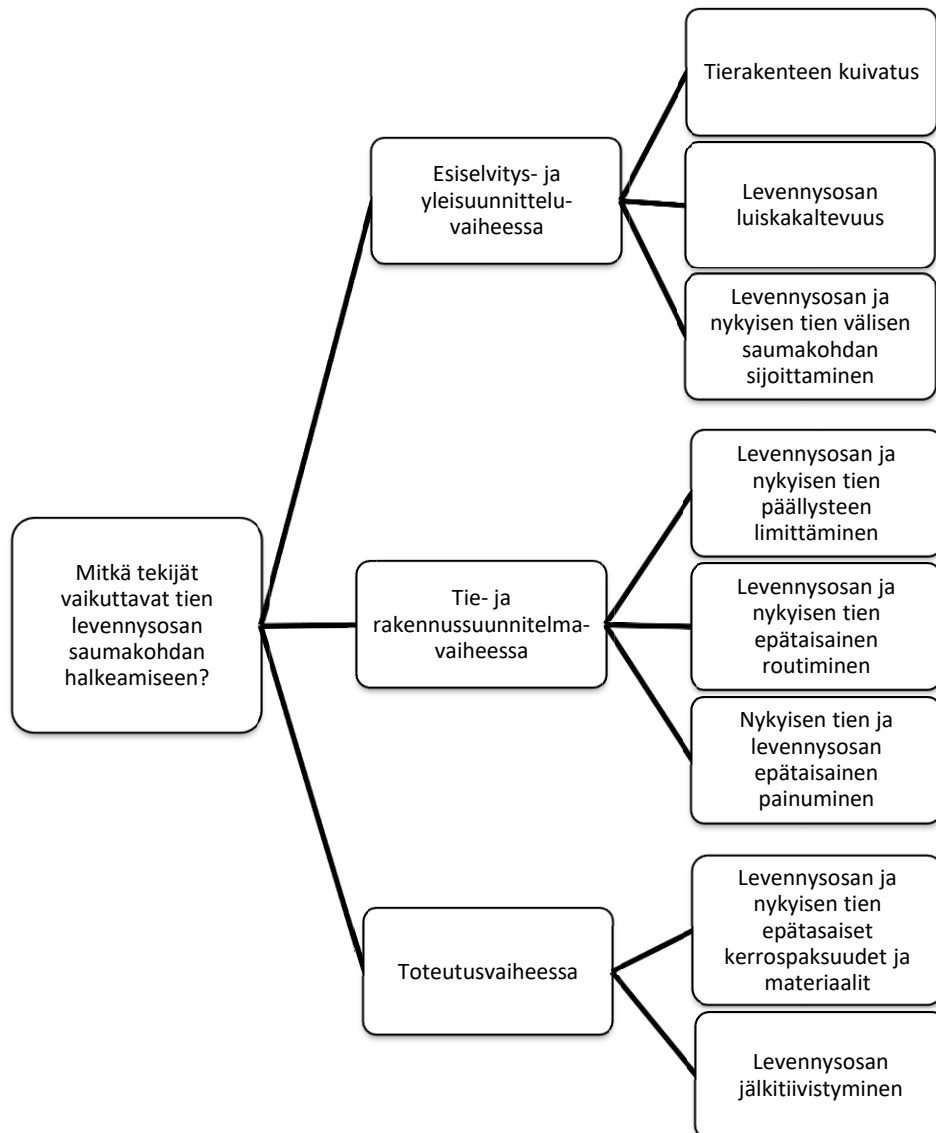
Haastatteluvastaukset käsiteltiin anonyymina litteroinnista lähtien. Haastatteluiden aikana kirjattiin pääkohtia ylös haastattelulomakkeisiin, joista vastaukset siirrettiin Excel- taulukkoon. Vastauksia täydennettiin kuuntelemalla haastattelunauhoitukset uudelleen läpi. Tämän jälkeen haastatteluvastaukset jaettiin kolmeen tutkimuksen lähestymistavan ja näkökulman perusteella muodostettuun luokkaan, joita olivat esiselvitys ja yleissuunnittelu, tie- ja rakennussuunnittelu sekä toteutus. Yksittäisen vastauksen kohdistaminen tiettyyn luokkaan tehtiin sen mukaan, mihin hankkeen vaiheeseen haastateltava oli vastauksensa kohdistanut.

Luokittelun jälkeen vastaukset jaettiin luokkien alle määritettyjen teemojen mukaisesti. Teemat olivat vastaavat kuin aiempien tutkimustulosten ja Roadexin kenttätutkimusten perusteella saadut tekijät, joita olivat

- tierakenteen kuivatus
- levennysosan luiskakaltevuus
- levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen
- levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen
- levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen
- levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen
- levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit
- levennysosan jälkitiivistyminen.

Teemoittelun jälkeen tulosten analysointi näytti kuvan 38 mukaiselta. Teemat oli jaoteltu luokkien alle sen perusteella, missä suunnitteluvaiheessa on suurin vaikutusmahdollisuus kyseiseen teemaan. Teemat eivät kuitenkaan ole täysin yksiselitteisiä ja perustelu jaottelusta tyhjentävä, koska teema voi sisältyä myös johonkin toiseen tai kaikkiin hankkeen vaiheisiin. Teemoittelu tuleekin ymmärtää haastatteluvastausten käsittelyn ja analyysin työkaluna, mihin vaikuttaa tutkimuksen alussa valittu tutkimuksen lähestymistapa ja näkökulma, vaikka se osaltaankin voi ohjata vastausten tulkintaa. Teemoittelun haasteellisuudessa ja monitulkintaisuudessa voikin huomata kvalitatiiviselle tutkimukselle tyypillisen aineiston analyysiin liittyvän problematiikan tai väljyyden, kuten myös tutkimuksen alussa ja suunnittelussa tehtyjen valintojen vaikutuksen. Kvalitatiivisen tutkimuksen tulosten analysoinnissa ja tulkinnassa on enemmän tulkinnanvaraa kvantitatiiviseen tutkimukseen verrattuna. Kvalitatiivisen tutkimuksen tuloksien käsittelyssä korostuu tulosten kuvailu, jolla pyritään kertomaan

tutkimustulokset sellaisenaan ja siten, että haastateltavien, haastattelijan ja tulosten lukijan käsitys tuloksista on yhtenäinen. Tulkinta on taas tutkimuksen lähtökohdan ja näkökulman perusteella tehty tulosten saattaminen sellaiseen muotoon, jota voidaan tarkastella tutkimuskysymyksen kannalta.



Kuva 38. Tutkimuskysymys, luokat ja teemat

5 TUTKIMUSTULOSTEN ANALYYSI JA TULKINTA

5.1 Tutkimustulokset

Tutkimustulosten läpikäynti sisältää haastatteluvastausten sisällön esittelyn, analyysin ja analyysin tulkinnan. Haastatteluvastausten sisällön esittely on jaoteltu teemojen mukaisesti. Teemojen alle on kerätty tärkeimmät teeman sisältämät kokonaisuudet alateemoiksi helpottamaan asian jäsentelyä ja tulosten tulkintaa. Alateemojen määrä on pyritty pitämään kohtuullisena tulosten selvyiden ja vertailtavuuden vuoksi. Alateemojen etsikointi perustuu niitä hyvin kuvaaviin sisällön ilmaisuihin asian sisäistämisen helpottamiseksi, eikä niihin ole lähdetty etsimään termejä tutkimuksista tai kirjallisuudesta.

Teemojen mukaisten tekijöiden lisäksi esiin nousi tekijöitä, joilla haastateltavat kokivat olevan vaikutusta tien levennyssauman onnistumiseen. Nämä teemojen ulkopuoliset tekijät jaotellaan omaksi ryhmäkseen käyttämällä samaa luokitusta kuin teemojen jaottelussa. Luokka määräytyy sen mukaan, mihin hankkeen vaiheeseen haastateltava on vastauksensa kohdistanut. Luokkien sisälle muodostetaan samalla tavalla kuten varsinaisten teemojen kohdalla alateemoja, joiden avulla kuvaillaan näitä lisäksi esiin tulleita tekijöitä.

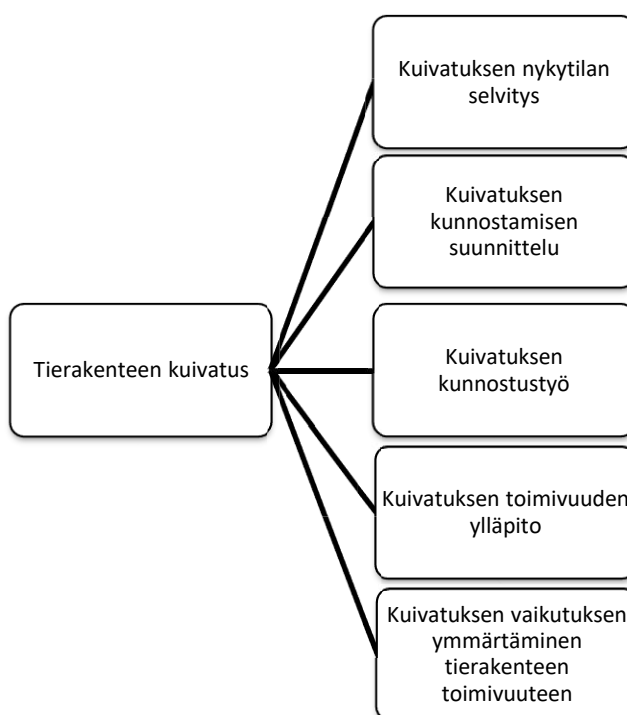
Vastaukset avataan yleisellä tasolla haastateltavien vähäisen määrän vuoksi, eikä yksittäisiä vastauksia esitellä haastateltavien anonymiteetin säilyttämiseksi. Tutkimushaastattelu perustuu luottamukseen ja tässä haastattelussa haastateltavien henkilöllisyydet voivat olla helposti pääteltävissä jopa haastateltavan roolin perusteella, mikä huomioidaan tulosten käsittelyssä ja analysoinnissa.

Teemat tierakenteen kuivatus, levennysosan luiskakaltevuus ja levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen käsitellään esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheen näkökulmasta. Teemat levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen sekä levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen käsitellään tie- ja rakennussuunnitelmavaiheen näkökulmasta. Teemat levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit sekä levennysosan jälkitiivistyminen käsitellään toteutusvaiheen näkökulmasta. Jaottelu perustuu työn alussa valittuun tutkimuksen näkökulmaan sekä kysymysten laadinnan

yhteydessä tehtyyn valintaan lähestyä tutkimusaihetta tien leventämishankkeen eri vaiheiden näkökulmasta.

5.1.1 Tierakenteen kuivatus

Tierakenteen kuivatuksen alateemoiksi muodostui vastausten perusteella viisi tekijää, jotka ovat esitelty kuvassa 39. Kuivatuksen nykytilan selvittäminen koettiin tärkeäksi jo esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa ja se sisältää ojien kunnon kartoitusta, kuivatuspuutteiden selvittämistä, laskuojien selvitystä ja tien kuivatushistorian selvittämistä. Hyväksi selvittämiskeinoksi haastateltavat olivat kokeneet maastokäynnin.



Kuva 39. Teeman tierakenteen kuivatuksen alateemat

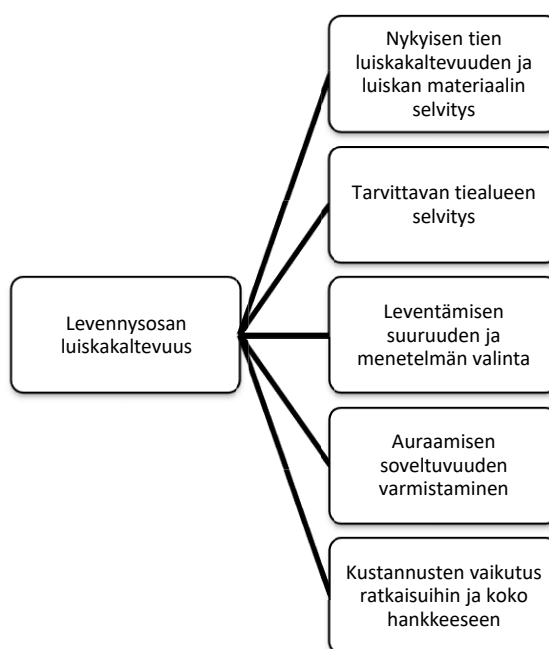
Haastateltavien mukaan kuivatuksen kunnostuksen suunnittelu sisältää kuivatuksen yleissuunnitelman tekemisen, jossa huomioidaan laskuojien sijainnit ja hankitaan tarvittavat luvat maanomistajilta niiden kunnostamiseen. Myös auraamismenetelmää suunniteltaessa tulisi rummut huomioida kartoittamalla niiden sijainti, kunto ja pituus. Kuivatuksen kunnostustyössä haastateltavat kertoivat laskuojien perkaamisen ja ojien siirtojen olevan tärkeässä roolissa lupamenettelyn vuoksi ja ajankäytön kannalta. Lupien hakeminen rakentamisvaiheessa voi olla aikaa vievää ja hankalaa. Kuivatuksen onnistumisen kannalta myös ojien siirrot tulisi suunnitella etukäteen tarkasti, jotta

voidaan varmistua vesien riittävästä virtaamisesta pois tierakenteesta ja tieympäristöstä, eikä padotuksia ilmenisi myöhemmin.

Kuivatuksen toimivuuden ylläpito on tien hoidon ja ylläpidon tehtävä, mutta haastateltavat kertoivat sillä olevan merkitystä nykyisen tierakenteen ja levennysosan saumahalkeaman onnistumiseen. Toimiva kuivatus parantaa tien kantavuutta ja estää tai ainakin vähentää epätasaista routimista nykyisen tien ja levennysosan välillä. Haastateltavat kokivat myös kuivatuksen vaikutusten ymmärtämisen koko tierakenteen toiminnan kannalta tärkeäksi niin tien parantamista suunniteltaessa kuin hoidon ja ylläpidon näkökulmasta.

5.1.2 Levennysosan luiskakaltevuus

Levennysosan luiskakaltevuuden alateemoiksi muodostui viisi tekijää, jotka ovat esitelty kuvassa 40. Haastateltavat kertoivat nykyisen tien luiskakaltevuuden ja luiskan materiaalien selvityksen olevan tärkeää suunniteltaessa leventämistä, leventämismenetelmää ja nykyisen tiealueen riittävyttä. Nykyisen tiealueen riittävyys ja arvio linjauksen ja tasauksen muutoksesta koettiin tärkeäksi, jotta leventämisen suunnittelu ja toteutus on jatkossa mahdollista tehdä päätettyjen ratkaisujen mukaisesti. Tiealueen riittävyys myös rajaa tai mahdollistaa leventämisen suuruuden ja tietyn leventämistekniikan käytön.



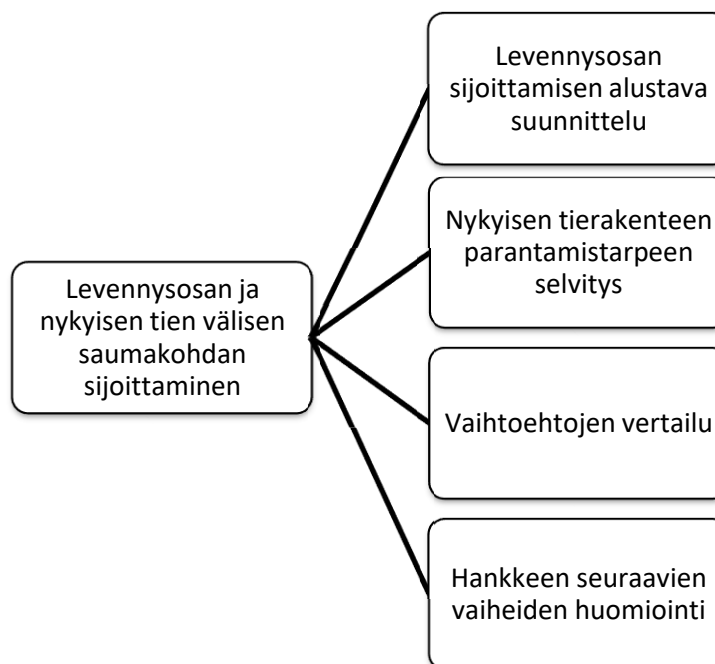
Kuva 40. Teeman levennysosan luiskakaltevuus alateemat

Levennysosan luiskakaltevuutta arvioitaessa ja leventämistekniikka päätettäessä tulisi haastateltavien mielestä kiinnittää huomiota lopulliseen levennyksen luiskakaltevuuteen ja luiskan kantavuuteen. Auraaminen koettiin haasteelliseksi riittävän loivien luiskakaltevuuksien säilyttämiseksi sekä luiskan tukimaiden varmistamiseksi. Auraaminen koettiin soveltuvaksi silloin, kun pohjamaa on hyvin kantavaa, tasalaatuista, kuivatus on toimiva ja levennyksen päälle ei ohjata liikennettä. Auraamisen kustannustehokkuus tiedostettiin, mutta laadunvarmistuksesta oltiin epävarmoja.

Haastateltavat kertoivat kustannusten vaikuttavan suuresti valmiin levennyksen luiskakaltevuuteen. Kapeat levennykset, joissa ei tarvitse tiesuunnitelmaa ja jotka voidaan toteuttaa päällystysurakan yhteydessä auraamismenetelmällä, ovat edullisia, mutta luiskakaltevuudet jäävät yleensä aiempaa jyrkemmiksi, mikä koettiin hankalana. Suuremmat levennykset, joissa tehdään tiesuunnitelma ja leventäminen toteutetaan kaivamalla, ovat kustannuksiltaan suurempia, mutta haastateltavat kokivat niiden olevan luiskakaltevuudeltaan hyviä ja ehkä jopa pitkällä tähtäimellä edullisempia ja varmempia kapeisiin levennyksiin verrattuna.

5.1.3 Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen

Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittamisen alateemoiksi muodostui neljä tekijää, jotka ovat esitelty kuvassa 41. Haastateltavat kertoivat alustavan ja karkean suunnittelun olevan tärkeää jo esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa. Suunnittelu sisältää perehtymisen kohteeseen, leventämisen leveyden ja sijoittamisen määrittämisen sekä leventämismenetelmän määrittämisen. Tässä vaiheessa haastateltavien mukaan on myös tärkeää selvittää nykyisen tien kunto ja rakenteen parantamistarve. Parantamistarvet tulisi arvioida tulevaisuuden vaikutusten kannalta.



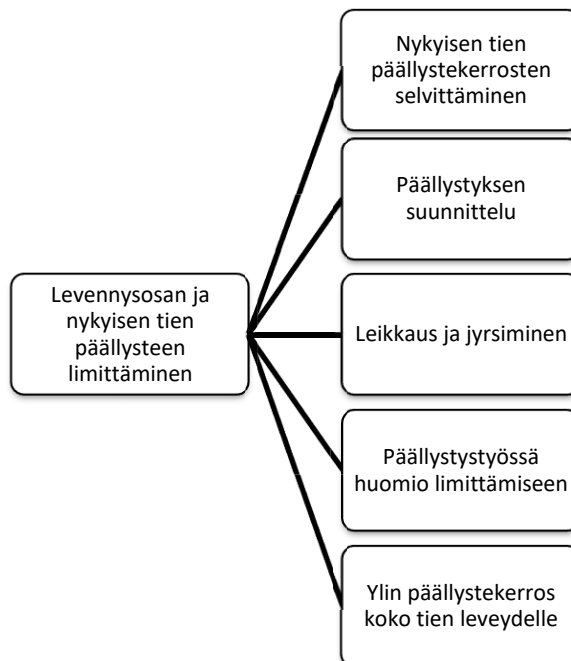
Kuva 41. Teeman levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen alateemat

Levennyksen saumakohdan sijoittamisen määrittelyn yhteydessä tulisi haastatteluvastausten perusteella pohtia eri ratkaisuja ja vaihtoehtoja. Osa haastateltavista toi ilmi toimenpideselvityksen tekemisen. Ratkaisujen ja vaihtoehtojen vertailun yhteydessä tulisi pohtia ja tiedostaa myös niihin liittyvät riskit ja ongelmat. Haastateltavien mukaan levennysosan sauman sijoittaminen yhdessä luiskakaltevuuden ja tiealueen leveyden kanssa määrittelee pitkälti seuraavia suunnitteluvaiheita. Hyväksi tavaksi koettiin kirjata ylös tai muulla tavalla dokumentoida suunnitteluratkaisujen perusteita ja siihen liittyviä riskejä sekä ongelmia. Suunnittelun lähteminen oikeaan suuntaan tässä vaiheessa koettiin tärkeäksi ja sillä arvioitiin olevan vaikutusta kustannuksiin ja seuraavien vaiheiden laatuun.

5.1.4 Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen

Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittämisen alateemoiksi muodostui viisi tekijää, jotka on esitelty kuvassa 42. Haastateltavat kertoivat nykyisen päällysteen paksuuden ja kerrosten määrän selvittämisen olevan tärkeää, jotta tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa voidaan suunnitella levennysosan päällystäminen. Haastateltavat olivat kokeneet hyviksi selvityskeinoiksi koekuopan päällysteen laitaan ja poraamisen päällysteen läpi. Päällystyksen suunnittelussa haastateltavat kertoivat tärkeää olevan limityksen ja päällystesaumojen sijoituksen lisäksi riittävän paksujen

päällystekerrosten suunnittelun ja massankäytön optimoinnin. Osassa haastatteluissa tuli myös ilmi päällystyksen suunnittelun heikko taitotaso ja tietämys.



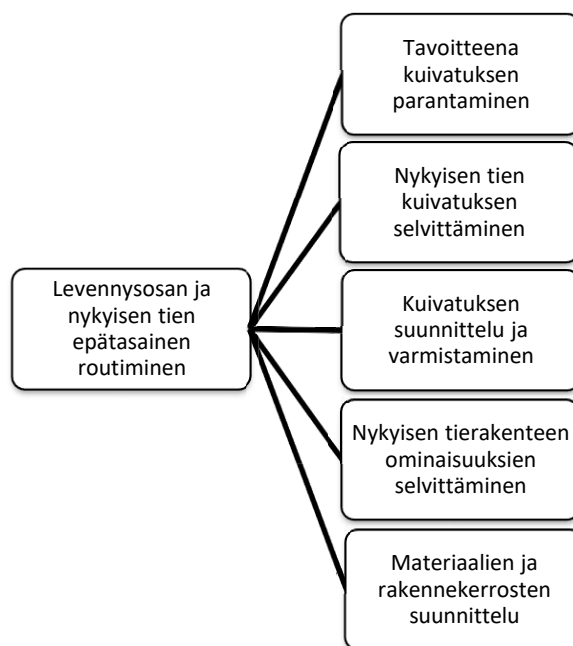
Kuva 42. Teeman levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen alateemat

Päällysteen jyrsiminen ja leikkaaminen tulisi haastateltavien mukaan tehdä riittävältä etäisyydeltä nykyisen päällysteen reunasta ja leikkauskohdassa päällysteen kuntoa tulisi seurata ja tarvittaessa huonokuntoista päällysteen reunaa jyrsiä kauempaa. Varsinaisessa päällystystyössä haastateltavat pitivät tärkeänä päällysteiden limittämistä ja saumojen porrastamista, päällysteiden tekemistä suunnitelmien mukaisesti, pystysaumojen välttämistä sekä saumojen sijoittamista nykyisen kantavan osan päälle. Viimeinen päällystekerros olisi haastateltavien mukaan paras tehdä koko tien leveydelle, mutta hajontaa oli siinä, pitäisikö levennysosalle tehdä erillinen päällystelaatta ennen koko tien leventämistä vai päällystetäänkö levennysosa yhtenäisillä päällystekerroksilla nykyisen tien päällystyksen kanssa.

5.1.5 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen

Levennysosan ja nykyisen tien epätasaisen routimisen alateemoiksi muodostui viisi tekijää, jotka ovat esitelty kuvassa 43. Haastateltavien mielestä tien leventämisen tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa yksi lähtökohta ja tavoite pitäisi olla kuivatuksen

parantaminen. Toimivalla kuivatuksella koettiin olevan suuri merkitys tierakenteen routivuuteen, etenkin tien rakennekerrosten ollessa ainakin osittain routivaa materiaalia, mikä on yleistä rakennetuilla kertaalleen parannetuilla teillä.



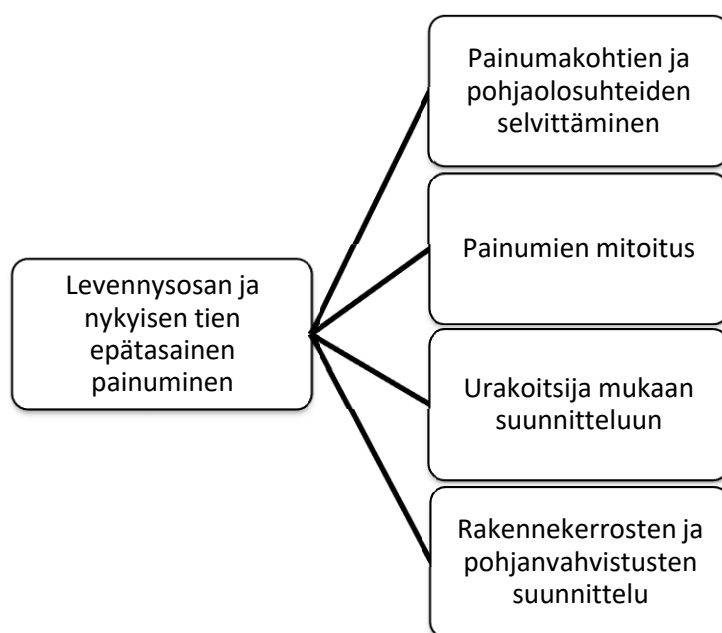
Kuva 43. Teeman levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen alateemat

Nykyisen tien kuivatustapa ja toimivuus tulisi selvittää, kuten myös tarkat rumputiedot, laskuojien tiedot ja riittävyys sekä ojien kunto. Yhdeksi kuivatuksen toimivuuden arviointikeinoksi haastateltavat kertoivat nykyisen tien päällysteen kunnon tarkastelun. Haastateltavat kertoivat myös kuivatuksen toimivuuden varmistamisen olevan olennaista routimisen kannalta. Haastateltavien mukaan kuivatus tulisi suunnitella nykyistä tarkemmin. Haastateltavat kokivat, että tällä hetkellä kuivatuksen suunnittelija on mukana vain erikoisrakenteissa ja tien kuivatuksen suunnittelu on riippuvainen tien suunnittelusta. Tien suunnittelun asettaessa tietyt rajat kuivatuksen suunnitteluun, kuivatuksen onnistumiseksi voitaisiin haastateltavien mielestä käyttää salaojia kohdissa, joissa ojan pohja on tierakenteen yläpuolella.

Epätasaista routimista haastateltavien mukaan aiheuttaa myös routivat tien rakennekerrokset. Rakennekerrosten routivuutta olisi hyvä selvittää nykyisen tien rakennekerrosten ominaisuuksien ja paksuuksien avulla ottamalla maanäytteitä nykyisistä tien rakennekerroksista. Myös tien rakentamishistorian koettiin olevan hyvä tapa selvittää tierakenteen routivuutta. Haastatteluissa tuli ilmi myös tierakenteen luiskien vedenpoistoaukkojen selvittäminen.

5.1.6 Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen

Levennysosan ja nykyisen tien epätasaisen painumisen alateemoiksi muodostui neljä tekijää, jotka ovat esitelty kuvassa 44. Painumakohtien ja pohjaolosuhteiden selvittäminen suunnittelujaksolla koettiin tärkeäksi levantämissuunnittelun tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa. Painumien hyväksi selvittämiskeinoksi oli todettu maastokäynti, jossa saadaan selville tarkat tien painumakohdat sekä mahdolliset pehmeiköt, turpeikot ja muut painumia aiheuttavat ongelmakohdat.



Kuva 44. Teeman levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen alateemat

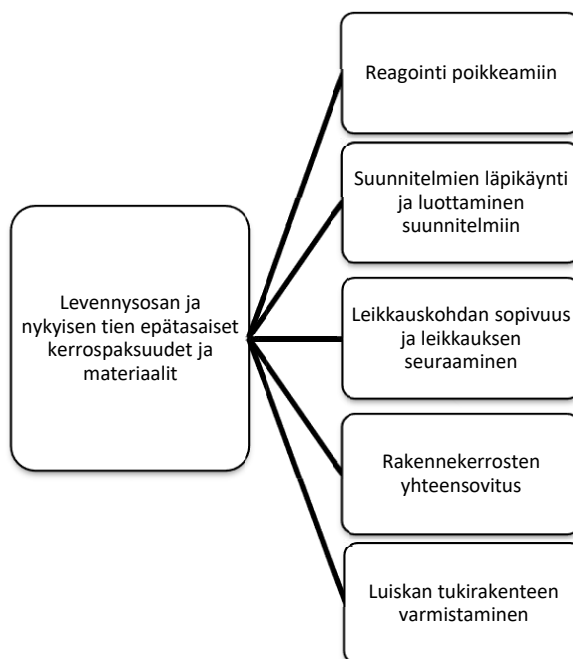
Maastokäynti tulisi tehdä roudattomaan aikaan, jolloin roudan aiheuttamat routanousut eivät vääristä maastokäynnin tuloksia. Maastokäynnillä tulisi päällysteen lisäksi havainnoida ympäröivää maastoa, josta voi olla hyötyä painumien syiden selvittämisessä. Osa haastateltavista suositteli maastokäyntien perusteella selvitettyjen ongelmakohtien kantavuusmittauksia sekä takaisinlaskentaa, jolla saadaan tietoa rakennekerrosten ja pohjamaan ominaisuuksista. Takaisinlaskennassa on kuitenkin hyvä muistaa ja ymmärtää aiemmin käytettyjen suunnitteluperusteiden erot nykyisiin verrattuna, mikä tuli ilmi useassa haastattelussa. Haastateltavien mukaan takaisinlaskenta voi olla hyvä apuväline painumien mitoituksessa ja pohjanvahvistusten suunnittelussa.

Haastateltavat kokivat urakoitsijan kokemuksen ja käytettävän kaluston oleelliseksi painumien muodostumisessa. Suunnitelmat tulisi laatia siten, että ne ovat toteutettavissa käytettävissä olevalla kalustolla. Urakoitsijan kokemusta arvostettiin suunnitelmien laatimisen yhteydessä ja urakoitsijan konsultointia pidettiin hyvänä tapana eri ratkaisuja pohdittaessa. Suunnittelijan ja urakoitsijan yhteistyön koettiin parantavan ajankäyttöä ja tehostavan resurssien käyttöä, minkä vuoksi vuoropuhelua eri osapuolten kesken koko suunnittelun ajan suositeltiin.

Rakennekerrosten ja pohjanvahvistusten suunnittelusta todettiin, että etenkin rakennetuilla kertaalleen parannetuilla teillä yleensä nykyinen tie pettää levennyksen pysyessä paikoillaan. Haastateltavien mukaan tärkeää on varmistaa nykyisen tien kantavuuden riittävyys leventämisen jälkeenkin esimerkiksi sekoitusjyrsinnällä. Turvekohdissa parhaaksi vaihtoehdoksi koettiin turpeen poistaminen nykyisen tien ja levennysosan alta ja uusien rakennekerrosten rakentaminen koko tien leveydeltä, mutta myös sen kustannukset ymmärrettiin. Turvekohtien suunnitteluun olisikin haastateltavien mielestä käytettävä aikaa, jotta päästäisiin selville nykyisen tien painumatilasta ja levennysosa voitaisiin mitoittaa sen mukaisesti. Levennysosan rakennekerrosten mitoitus tulisi haastateltavien mukaan tehdä nykyisten rakennekerrosten mukaisesti, kuitenkin niin, että alle 2 m leveä levennys voitaisiin tehdä nykyisillä rakenteilla ja yli 2 m leveä levennys uutena rakenteena.

5.1.7 Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit

Levennysosan ja nykyisen tien epätasaisien kerrospaksuuksien ja materiaalien alateemaksi muodostui viisi tekijää, jotka ovat esitelty kuvassa 45. Jokainen haastateltava kertoi reagoinnin poikkeamiin olevan tärkein toteutusvaiheessa oleva tekijä levennyssauman onnistumisen kannalta. Kaikki reagointi koettiin hyväksi, mutta erityisesti ilmi tuli reagointi suunnitelmapoikkeamiin, materiaali muutoksiin ja laatu poikkeamiin. Haastateltavat kertoivat suunnitelmien läpikäynnin yhdessä rakennuttajan, suunnittelijan ja rakentajan kanssa hyväksi keinoksi laskea kynnystä reagoida poikkeamiin. Reagointi poikkeamiin koettiin kaikkien hankkeen osapuolten tehtäväksi ja koko hankkeen ajan tapahtuvaksi, vaikka se konkretisoituu eniten toteutusvaiheessa. Rakentajan kuuleminen jo suunnitteluvaiheessa sekä suunnitelmien arviointi työmaapalaverissa saattaa haastateltavien mukaan vähentää poikkeamia ja alentaa kynnystä reagoida poikkeamiin, kuten myös suunnittelijan mukana oleminen työmaan aloituspalaverissa.



Kuva 45. Teeman levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit alateemat

Toteutuksen aikana haastateltavat kertoivat nykyisen tien leikkaamisen oikeasta kohdasta ja leikkauskohdan seuraamisen olevan tärkeää. Leikkauskohdan tulisi ulottua niin laajalle, että nykyisen tien rakennekerrokset ovat selkeästi havaittavissa. Leikkauskohdan ollessa päällysteen reunassa, päällysteen kuntoa tulee seurata ja tarvittaessa leikata kauempaa. Leikkauskohtaa tulisi seurata tarkasti pohjamaan olosuhteiden ja nykyisen tien rakennekerrosten tarkkailemiseksi ja luiskan riittävän avaamisen varmistamiseksi.

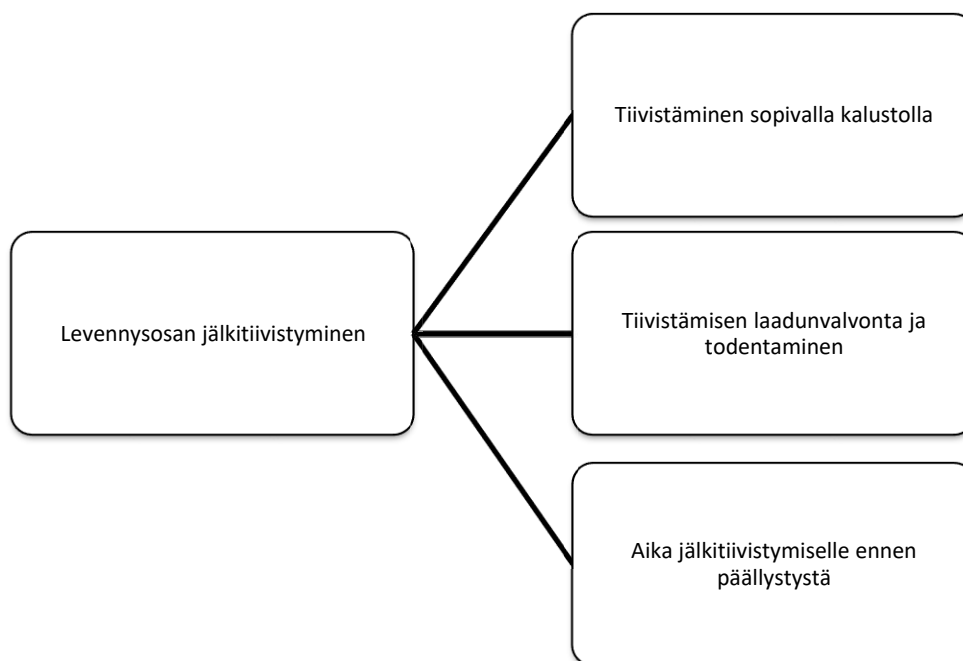
Haastateltavien mukaan leikkauskohtaa tulisi verrata suunnitelmiin ja poikkeamiin reagoida matalalla kynnyksellä. Leikkausta ei myöskään saa haastateltavien mukaan tehdä pystysuorasti nykyisten rakennekerrosten sortumisriskin ja levennysosan kiilauksen varmistamisen vuoksi. Haastatteluissa tuli ilmi auraamisen menetelmän käytön haastavuus riittävän leikkauksen laajuuden varmistamiseksi. Auraamisen menetelmässä haasteena on haastateltavien mukaan riittävä luiskan avaaminen ja luiskatäyttöjen poiston varmistaminen sekä riittävän syvyyden tarkistaminen. Vähäisessä tien leventämisessä luiskan avaaminen jakavan kerroksen alapuolella arvioitiin olevan riittävä, kun taas leveässä leventämisessä avaaminen pitäisi ulottaa pohjamaahan saakka.

Rakennekerrosten yhteensovittamisessa tärkeäksi koettiin soveltuvien, nykyisen tierakenteen kanssa tasalaatuisten materiaalien ja kerrospaksuuksien käyttö. Suunnitelmista poikkeavien materiaalien käytössä tulisi ottaa yhteyttä suunnittelijaan tai rakentajan tulisi mitoittaa ja varmistaa materiaalien sopivuus rakenteeseen. Muutamien haastateltavien mielestä materiaaleilla ja kerrospaksuuksilla ei juurikaan ole vaikutusta levennyssauman onnistumiseen, kunhan lähtökohtaisesti materiaalit ja kerrospaksuudet ovat toisiaan vastaavia. Osa haastateltavista taas korosti laadukkaiden materiaalien käyttöä. Auraamisen menetelmän käytössä mietitytti rakennekerrosten toteutuminen. Myös laadunvalvontaan tuli haastateltavien mielestä kiinnittää huomiota niin materiaalien kuin toteutuneen rakenteen osalta.

Kerrospaksuuksien ja materiaalien vaikutuksesta tien leventämisen onnistumiseen kysyttäessä haastatteluvastauksissa tuli ilmi auraamisella ja kaivamalla tehtävien leventämisten eroavaisuuksia. Haastateltavien mukaan kaivamalla tehtävässä leventämisessä saatiin varmemmin oikeanlaiset rakennekerrokset, kuivatusjärjestelmä ja luiskamuodot tehtyä. Auraamisessa riskinä nähtiin luiskan tukirakenteen rikkoontuminen ja riittävän luiskan levennysosalla muodostaman tuen puuttuminen.

5.1.8 Levennysosan jälkitiivistyminen

Levennysosan jälkitiivistymisen alateemoiksi muodostui kolme tekijää, jotka ovat esitelty kuvassa 46. Haastateltavien mukaan levennysosan tiivistäminen on haastavaa ja sillä on suuri vaikutus levennysosan jälkitiivistymiseen. Jälkitiivistymiseen voidaan haastateltavien mukaan vaikuttaa huolellisella tiivistämistyöllä ja sopivan kaluston käyttämisellä. Etenkin kapeissa leventämisissä kaluston merkitys korostui. Kaluston tulee olla haastateltavien mukaan olla oikean kokoinen suhteessa levennykseen, jotta päästään riittävän lähelle levennyssaumaa eikä levennysosan ja nykyisen tien väliin jää rakoa. Haastatteluissa tuli ilmi myös, että koneellinen tiivistäminen täyryllä voi olla parempi keino entä polkemalla, yleensä kuorma-autolla tehtävä tiivistäminen. Veden käyttö tiivistämisessä koettiin myös hyödylliseksi.



Kuva 46. Teeman levennysosan jälkitiivistäminen alateemat

Haastateltavat kokivat tiivistämisessä laadunvalvonnan olevan ensisijaisen tärkeää. Tehdyn työn todentamisessa tiiveyksien tarkistamisella voidaan varmistua riittävästä tiivistämisestä. Ylitiivistämistä tulee myös välttää. Tiiveyden tarkistamisessa tiiveyssuhde koettiin merkittäväksi mittariksi, jolla voitiin todentaa asetetun tiiveysvaatimuksen täyttyminen. Tiivistämisessäkin reagointi poikkeamiin on tärkeässä asemassa, koska tiivistämistyön laatu näkyy seuraavissa vaiheissa ja korjaaminen voi olla aikaa vievää sekä kasvattaa kustannuksia. Ongelmat voivat näkyä myös viiveellä vasta vuosien päästä. Haastateltavien mukaan myös levennysosan jälkitiivistymiseen pitäisi jättää aikaa ennen päällystystyötä. Usein kuitenkin se ei ole käytännössä mahdollista esimerkiksi levennystyön toteutuessa myöhään syksyllä.

5.1.9 Muut haastatteluissa esiin tulleet tekijät

Haastattelu oli puolistrukturoitu haastattelu, jossa kysymykset olivat ohjaava runko ja tilaa jätettiin keskustelulle. Tällä mahdollistettiin vastaaminen kaikkiin hankkeen osa-alueisiin sekä kokemustiedon jakaminen. Nämä vastaukset, joita ei voida yhdistää aiempien tutkimustulosten ja kirjallisuuden perusteella määritettyihin teemoihin, on määritelty teemojen lisäksi ilmi tulleiksi tekijöiksi. Nämä tekijät kuvaillaan, mutta jätetään varsinaisen teemoittelun avulla tehtävän analyysin ulkopuolelle. Teemoittelun avulla tehtävän analyysin teemat perustuvat aiempien tutkimusten ja teoriatiedon perusteella määritettyihin teemoihin, joilla on siis olemassa teoreettinen tausta, kun taas

teemojen lisäksi ilmi tulleet tekijät perustuvat kokemustietoon ja edustavat haastateltavien näkemyksiä, havaintoja ja kokemuksia teemojen ulkopuolelta. Nämä ovat kuitenkin arvokasta tietoa levennyksen suunnittelun ja rakentamisen ymmärtämiseksi ja mahdollisesti kehittämiseksi.

Kuvassa 47 on listattuna tien leventämishankkeen eri vaiheiden mukaan haastatteluissa teemojen lisäksi esiin tulleet tekijät. Esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa riittävän tarkkojen lähtötietojen hankinta koettiin tärkeäksi mahdollisimman perusteltujen ratkaisujen pohjaksi. Haastateltavien mukaan jo tässä vaiheessa olisi hyvä tehdä pohjatutkimuksia tai alustava pohjatutkimusohjelma. Maastokäynti ja perehtyminen kohteeseen on haastateltavien mielestä välttämätöntä. Lähtötiedoiksi olisi hyvä selvittää pohjaolosuhteet, nykyisen tien rakennekerrokset, aiemmat parantamistoimenpiteet, tien päällystys- rakentamishistoria sekä raskaan liikenteen osuuden historiatieto, kaltevuuspuutteet, vauriodata sekä mahdolliset ongelmakohdat ja kohteen erityispiirteet. Tien kuntoa tulisi tarkastella kokonaisuutena muutoin kuin päällysteen osalta. Tierakenteen toiminta olisi hyvä ymmärtää ja peilata siihen mahdollisia vaurioita ja niiden aiheuttajia.

Esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaihe

- Riittävän tarkkojen lähtötietojen hankinta
- Suunnitteluperusteiden selvitys ja määrittäminen
- Päällystykseen alustava suunnittelu
- Aikataulutuksen ja resurssien suunnittelu
- Yhteistyö, kokemuksen ja palautteen hyödyntäminen
- Selkeä ja kaikkien yhteinen tahtotila

Tie- ja rakennussuunnitteluvaihe

- Pohjatutkimukset ja lähtötiedot
- Suunnittelun laatu
- Yhteistyö, kokemus ja ammattitaito
- Tahtotila ja tavoitteet ratkaisujen tekemisessä
- Ratkaisun vaikutus luiskakaltevuuksiin ja leventämismenetelmään

Toteutusvaihe

- Palaute, yhteistyö, kokemus ja tahtotila
- Pohjatutkimukset
- Suunnitelmamuutokset ja päivitykset
- Aikataulutus ja resursointi
- Päällystystyö
- Kuivatus

Kuva 47. Teemojen lisäksi haastatteluissa esiin tulleet tekijät luokittain

Leventämissuunnittelun perustaksi on haastateltavien mukaan hyvä selvittää jo esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa leventämisessä käytettävät suunnitteluperusteet. Selvitettäviksi perusteiksi haastateltavat kertoivat tien käyttöasteen määrittämisen, tien käytön tyypin selvittämisen, liikenteen koostumuksen selvittämisen sekä raskaan liikenteen onnettomuustietojen selvittämisen. Myös päällystyksen alustava suunnittelu ja ajoituksen hahmotteleminen tuli esille haastatteluvastauksissa. Lähtötietojen riittävyyden ja luotettavuuden todettiin olevan tärkeässä asemassa suunnittelun laadun näkökulmasta. Haastateltavien mukaan mitä tarkemmat lähtötiedot tässä vaiheessa on hyödynnettävissä, sitä tarkemmat ratkaisut on mahdollista tehdä ja suunnittelu saattaa lähtemään oikeaan suuntaan. Myös ajankäyttö ja resurssit olisi hyvä suunnitella mahdollisimman tarkasti jo tässä vaiheessa, jotta myös joustoille on sijaa. Rakennuttajan todettiin olevan myös suunnitteluttaja, jolloin tarkat lähtötiedot helpottavat myös rakennuttajan projektityötä.

Lähtötietojen hankinnassa ja suunnittelutyön suunnittelussa haastattelijat kertoivat yhteistyöstä, kokemuksesta ja palautteesta olevan hyötyä. Leventämisrakentamisessa koettiin usein tarvittavan usean eri tekniikkalajin osaajia, jotka olisi hyvä ottaa mukaan jo tässä vaiheessa suunnittelua. Todettiin myös, että jos vain mahdollista, projektiryhmän olisi hyvä pysyä samana koko hankkeen ajan, jolloin ei tulisi ongelmia esimerkiksi informaation siirron kanssa ja työskentely tehostuisi. Haastateltavat kertoivat myös tavoitteiden asettamisen ja yhteisen tahtotilan olevan tärkeässä asemassa, jotta levennysrakenne saadaan onnistumaan. Tavoitteiden tulisi olla selkeitä ja perusteltuja ja tavoitetilalla ohjataan suunnittelua eteenpäin.

Tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa riittävät lähtötiedot ja pohjatutkimukset olivat myös tärkeitä haastateltavien mukaan. Pohjatutkimuksia tulisi tehdä etenkin ongelmakohtiin ja epävarmoihin kohtiin. Haastatteluvastauksissa kävi ilmi, että yleisesti pohjatutkimuksia tehdään riittävästi, mutta tehtävä määrä ei lähes koskaan vastaa ohjeistusten mukaista määrää, mikä on paljon enemmän verrattuna tehtävään määrään. Todettiin myös, että pohjatutkimusten tekemismahdollisuus voisi olla myös toteutusvaiheessa, koska esimerkiksi kairaukset kertovat vain yhden kohdan pohjaolosuhdetiedot ja pohjaolosuhteet voivat vaihdella paikoin hyvinkin pienipiirteisesti. Hyviksi pohjatutkimusmenetelmiksi haastatteluvastausten perusteella oli todettu kairaukset, koekuopat ja maatutkaluotaus. Muita hyviä keinoja selvittää kohteen ominaisuuksia ovat haastateltavien mukaan maastokäynti, Google Maps ja muut kuvalliset karttapalvelut.

Haastateltavien mukaan suunnitelmien laatuun pystyy vaikuttamaan riittävillä lähtötiedoilla. Tarkka maastomalli auttaa tekemään tarkat suunnitelmat, mitkä taas voi vaikuttaa hankkeen kustannuksiin ja toteutukseen. Kustannusten todettiin vaikuttavan tehtäviin suunnitteluratkaisuihin. Yleensä tien leventäminen tehdään tien rakenteen parantamisen yhteydessä ja resurssit ovat rajalliset, jolloin ratkaisuja täytyy pohtia niin tien toiminnallisuuden kuin pitkän ajan kustannusten valossa. Haastatteluissa todettiin, että tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa olisi hyvä olla joustoa tehtyjen levennysratkaisujen suhteen, jotta tien leventäminen ja rakenteen parantaminen olisi mahdollista tehdä mahdollisimman kustannustehokkaasti myös pitkällä aikajänteellä tien kuntoa tarkasteltaessa. Myös suunnitelmaratkaisujen analyyttinen tarkastelu tuli esille, jotta uusien toimintatapojen ja suunnitelmaratkaisujen tekeminen olisi mahdollista. Tien leventämiseen jopa toivottiin uusien menetelmien testausta alan kehittämiseksi.

Alan kehittämisessä koettiin yhteistyön ja palautteen olevan avainasemassa. Haastateltavien mukaan tällä hetkellä palaute ei kulje suuntaan eikä toiseen, jolloin esimerkiksi suunnittelijat eivät ikinä saa tietoa suunnittelemansa rakenteen toteutettavuudesta ja toimivuudesta. Oma aktiivisuus palautteen kysymisessä tuli myös ilmi haastatteluissa. Yhteistyön koettiin olevan merkityksellistä koko hankkeen ajan. Käytännössä sen ei koettu toteutuvan kovinkaan hyvin kaikkien hankkeen osapuolten kesken, mutta omassa organisaatiossa yhteistyön koettiin toimivan hyvin. Haastateltavat toivat esiin kokemuksen merkityksen suunnitteluratkaisujen tekemisessä etenkin haastavissa ja laajoissa hankkeissa. Yhteistyön koettiin auttavan kokemustiedon hyödyntämisessä.

Selkeät tavoitteet ja kaikkien yhteinen tahtotila oli haastateltavien mielestä tärkeitä leventämisrakentamisen onnistumisessa. Tavoitteet ja tahtotila ohjaavat suunnittelua ja tehtäviä ratkaisuja. Ratkaisujen ja vaihtoehtojen pohtiminen ja kohteeseen sovittaminen koettiin tärkeäksi, jotta työ olisi mahdollisimman kustannustehokasta. Haastateltavien mukaan myös riskien tarkastelua pitäisi tehdä sekä kirjata ylös tai muulla keinoin dokumentoida niin ratkaisuperusteet ja riskit kuin hylättyjen vaihtoehtojen perustelut. Myös kustannustietämys tuli ilmi haastatteluvastauksissa ja sillä koettiin olevan vaikutusta tehtäviin leventämisratkaisuihin sekä suunnitteluun.

Tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa tehdään lopulliset ratkaisut tiealueen haltuunotosta. Haastateltavien mielestä on tärkeää perustella kunnolla tiealueen

haltuunoton kriteerit ja varmistaa sen riittävyys ja vaikutus tehtäviin ratkaisuihin. Tiealue määrittää käytännössä tehtävän leventyksen suuruuden ja luiskakaltevuuden. Luiskakaltevuuksilla oli taas haastateltavien mukaan vaikutusta leventämisen onnistumiseen ja tienkäytön turvallisuuteen. Tiealueen koettiin myös määrittävän käytettävän leventämismenetelmän. Tiealueen muuttaminen seuraavissa vaiheissa koettiin työlääksi ja aikaa vieväksi.

Toteutusvaiheessa haastateltavat kertoivat palautteen ja yhteistyön olevan tärkeässä asemassa levennysrakenteen onnistumisessa. Rakentamisen aikana niin valvojan kuin rakentajan reagointi poikkeamiin ja niistä ilmoittaminen koettiin tärkeäksi niin suunnitelmien päivittämisen kuin palautteen kannalta. Myös tässä haastateltavat kokivat yhteisen tahtotilan olevan ohjaava tekijä. Valvojan roolin tärkeys tuli myös esille haastatteluissa. Valvojan työmaasta ajan tasalla olemista ja saavutettavuutta pidettiin tärkeänä. Työmaan tiedonkulku tuli myös esiin haastatteluissa, kuten myös se, että laatupoikkeamat ei aina johda sanktioihin. Todettiin, että mitä aikaisemmassa vaiheessa poikkeamiin reagoidaan, sitä helpommin ne yleensä hoituvat.

Haastatteluissa tuli ilmi pohjatutkimusten tekeminen vielä toteutusvaiheessa. Levennysrakentamisen koettiin olevan haastavaa, joten toteutusvaiheessa tehtävillä pohjatutkimuksilla voitaisiin pienentää mahdollisia rakentamiseen liittyviä riskejä. Auraamismenetelmää käytettäessä pidettiin tärkeänä maastokäyntiä ja pohjatutkimusten tekemistä haastavista kohdista. Myös aiemmin tehtyjen pohjatutkimusten määrä ja laatu oli huomattavissa rakentamisen aikana. Suunnitelmien todettiin olevan lähtötietojen tasoisia ja vaikuttavan suunnitelmien todenmukaisuuteen maastossa, esimerkiksi tien pinnan ja ojien sijaintiin. Koska leventämisrakentamisen todettiin olevan haastavaa, haluttiin myös korostaa joustavuutta suunnitelmamuutostilanteissa. Muutokset vaativat haastateltavien mukaan suunnitteluperusteiden ymmärtämistä ja usein geoteknistä osaamista, joten suunnitelmamuutosten koettiin vievän aikaa.

Aikataulutus, eri työvaiheiden suunnittelu ja resursointi oli haastateltavien mukaan tärkeä osa leventämisrakentamisen onnistumista. Rakentaminen tulisi tehdä roudattomaan aikaan, rakentamiselle tulisi varata riittävästi aikaa, jotta yhdelle kesälle ei olisi liikaa kohteita sekä eri työvaiheet tulisi suunnitella ennakkoon. Työvaiheissa tulisi optimoida konetyön osuus, jotta rakentaminen olisi tehokasta ja sujuvaa. Rakentajalla tulisi olla riittävät resurssit niin henkilökunnan kuin kaluston osalta. Aikataulutuksessa tulisi

haastateltavien mukaan huomioida myös päällystystyö, jotta se ei ajoitu liian myöhään syksylle. Päällystystyö tulisi suunnitella etukäteen, jotta leventäminen ehditään rakentaa ja levennyssaumojen limitys tehdä asianmukaisesti.

Haastateltavien mukaan vielä toteutusvaiheessa on tärkeää varmistaa kuivatuksen toimiminen. Kuivatuksella on vaikutusta levennysrakenteen onnistumiseen niin routimisen kuin kantavuuden kannalta. Todettiin, että rakentamisen aikana tulee tarkistaa tierakenteen kuivatus ja tarvittaessa tehdä vedenpoistoaukot luiskiin, jotta vesi pääsee hallitusti purkautumaan tierakenteesta. Myös rumpujen toimivuuden varmistaminen katsottiin olevan osa toteutusvaiheen kuivatuksen parantamisen varmistamista.

5.2 Analyysi ja tulkinta

Teemojen sisältämien vastausten sisällön esittelyn jälkeen tehdään vastauksista analyysi ja sen pohjalta tulkinta. Kvalitatiivisen tutkimuksen analyysimenetelmien runsauden, sääntöjen väljyyden, aineiston suuren koon ja elämänläheisyyden vuoksi tulkintaan on olemassa useita eri keinoja ja menetelmiä. Tässä tutkimuksessa hyödynnetään menetelmää havaintojen painottamisesta, jolla saadaan aineisto vastaamaan riittävän hyvin perusjoukkoa. Aineiston painottamista käytetään silloin, kun aineiston vinoutumisesta johtuen otos ei kuvaa riittävän hyvin perusjoukkoa, eli tässä tapauksessa roolien määrien epäsuhtaa korjataan painotuskertoimien avulla. (Vilkkä 2007, s. 110)

5.2.1 Roolien painotetut vastausmäärät

Roolien painotettujen vastausmäärien avulla arvioidaan teeman vaikuttavuutta roolien kannalta. Painotettua vastausprosenttia käytetään vaikuttavuutta kuvaavana arvona, jonka perusteella tehdään tulkinta, miten tärkeäksi eri roolit ovat kokeneet teeman levennyssaumojen hakemien muodostumisessa. Tässä työssä roolien painotuskertoimet on laskettu Tampereen yliopiston tietokannan Kyselyaineiston havaintojen painottaminen -aineiston mukaisesti taulukossa 2 esitetyllä tavalla. Koska vastaajia oli roolikohtaisesti eri määrä, painokertoimen avulla vastaukset saadaan vastaamaan perusjoukkoa, jolloin mikään rooli ei ole yli- tai aliedustettuna. (Tampereen yliopisto)

Taulukko 2. Eri roolien painokertoimien laskeminen

Painotettava rooli	Roolien määrä (N)	Toivottu jakauma (K_i)	$N * K_i$	Todellinen jakauma (n_i)	Painokerroin $w_i = \frac{N \times K_i}{n_i}$
Rakennuttaja	14	0,33	4,62	4	1,16
Suunnittelija	14	0,33	4,62	8	0,58
Rakentaja	14	0,33	4,62	2	2,31

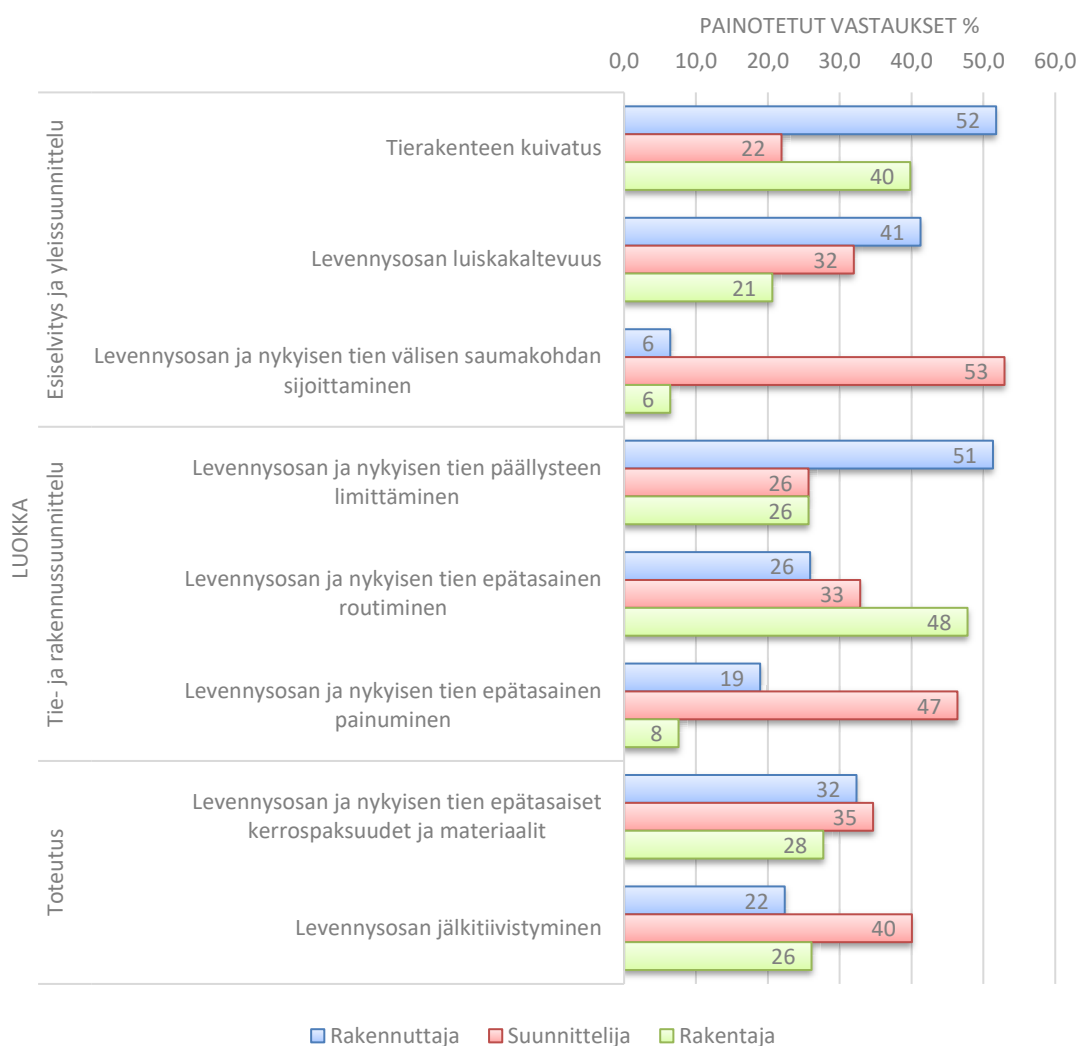
Vaikuttavuutta kuvaava arvo lasketaan taulukon 3 mukaisesti. Roolien painotettujen vastausmäärien laskeminen tapahtuu siten, että ensin lasketaan painotuskerroin, jolla kerrotaan roolikohtainen vastausmäärä ja tulokseksi saadaan perusjoukkoa vastaavat roolikohtaiset vastausmäärät prosentteina (Vilkkä 2007, s. 110). Näitä vastausmääriä tarkastelemalla voidaan tehdä tulkintoja ja johtopäätöksiä teemojen vaikuttavuudesta eri roolien kannalta.

Taulukko 3. Teemojen painotettujen vastausten määrät

Luokka	Teema	Rooli	Kaikki vastaukset (kpl)	Roolin vastausten määrä (kpl)	Roolin vastausten määrä (%)	Paino- kerroin (w_i)	Painotettu vastausten määrä ($\%_p =$ $\%_v * w_i$)
Esiselvitys ja yleissuun- nittelu	Tierakenteen kuivatus	Rakennuttaja	29	13	44,8	1,16	52
		Suunnittelija	29	11	37,9	0,58	22
		Rakentaja	29	5	17,2	2,31	40
	Levennysosan luiskakaltevuus	Rakennuttaja	56	20	35,7	1,16	41
		Suunnittelija	56	31	55,4	0,58	32
		Rakentaja	56	5	8,9	2,31	21
	Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen	Rakennuttaja	36	2	5,6	1,16	6
		Suunnittelija	36	33	91,7	0,58	53
		Rakentaja	36	1	2,8	2,31	6

Tie- ja rakennus-suunnittelu	Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen	Rakennuttaja	36	16	44,4	1,16	51
		Suunnittelija	36	16	44,4	0,58	26
		Rakentaja	36	4	11,1	2,31	26
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen	Rakennuttaja	58	13	22,4	1,16	26
		Suunnittelija	58	33	56,9	0,58	33
		Rakentaja	58	12	20,7	2,31	48
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen	Rakennuttaja	61	10	16,4	1,16	19
		Suunnittelija	61	49	80,3	0,58	47
		Rakentaja	61	2	3,3	2,31	8
Toteutus	Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit	Rakennuttaja	100	28	28,0	1,16	32
		Suunnittelija	100	60	60,0	0,58	35
		Rakentaja	100	12	12	2,31	28
	Levennysosan jälkitiivistyminen	Rakennuttaja	62	12	19,4	1,16	22
		Suunnittelija	62	43	69,4	0,58	40
		Rakentaja	62	7	11,3	2,31	26

Tarkastelun ja tulkinnan avuksi kuvassa 48 on esitetty taulukon 3 mukaisesti roolien vaikuttavuutta kuvaavat arvot eli painotetut vastauksien määrät kuvaajamuodossa. Kuvaajasta voidaan huomata, että rakennuttajat vastasivat tierakenteen kuivatusta, levennysosan ja nykyisen päällysteen limittämistä sekä levennysosan luiskakaltevuutta koskeviin teemoihin aktiivisimmin. Vähiten vastauksia rakennuttajilta oli saanut levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen.



Kuva 48. Roolien painotettujen vastausmäärien prosenttiosuudet teemoittain

Suunnittelijat olivat vastanneet aktiivisimmin levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittamista, levennysosan ja nykyisen tien painumista sekä levennysosan jälkitiivistymistä koskeviin teemoihin. Vähiten vastauksia suunnittelijoilta oli saanut teema tierakenteen kuivatus. Rakentajat olivat vastanneet aktiivisimmin levennysosan ja nykyisen tien epätasaista routimista, tierakenteen kuivatusta sekä levennysosan ja nykyisen tien epätasaisia kerrospaksuuksia ja materiaaleja koskeviin teemoihin. Vähiten vastauksia rakentajilta oli saanut teema levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen.

5.2.2 Teeman vastauksien osuus kaikista vastauksista

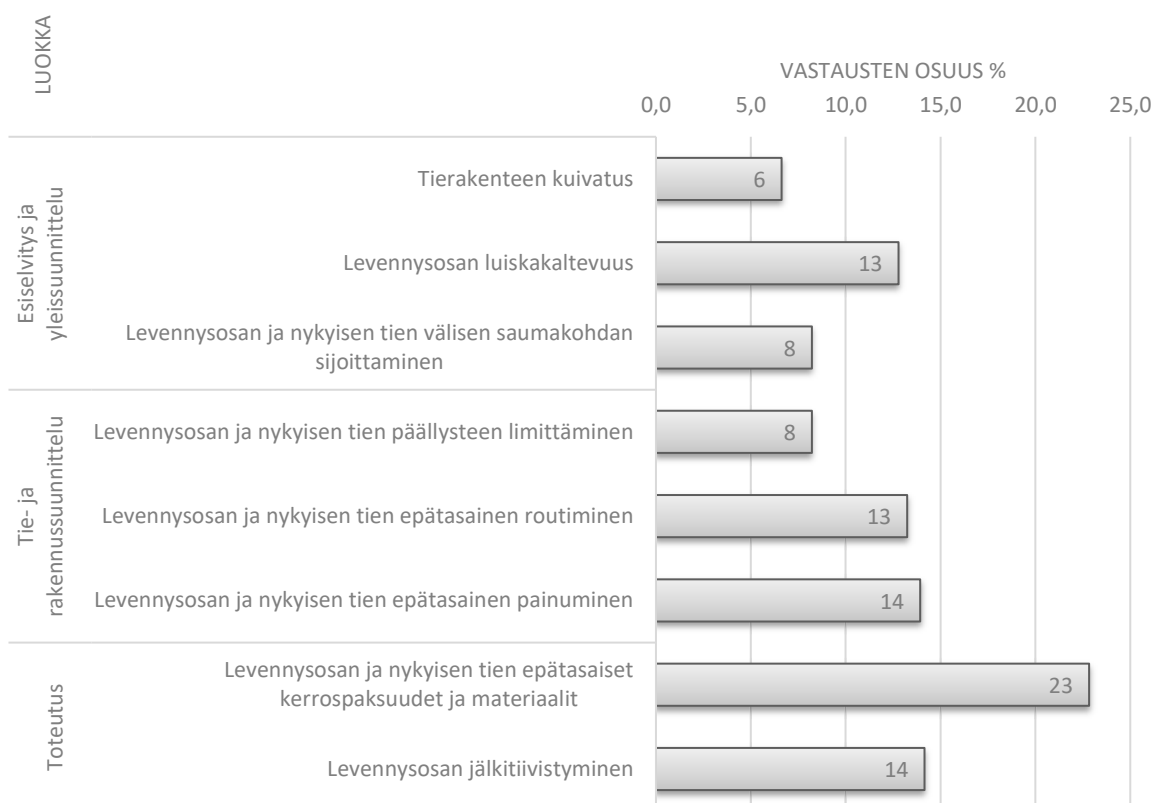
Laskemalla tietyn teeman vastauksien osuus kaikista teemojen vastauksista pyritään arvioimaan kyseisen teeman vaikuttavuutta suhteessa kaikkiin teemoihin. Taulukossa 4

on esitetty kaikkien vastausten määrä teemoittain. Yhteensä teemoihin liittyviä vastauksia oli 438 kpl.

Taulukko 4. Vastausmäärät teemoittain

Luokka	Teema	Vastaukset (kpl)
Esiselvitys ja yleissuunnittelu	Tierakenteen kuivatus	29
	Levennysosan luiskakaltevuus	56
	Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen	36
Tie- ja rakennussuunnittelu	Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen	36
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen	58
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen	61
Toteutus	Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit	100
	Levennysosan jälkitiivistyminen	62
Yhteensä		438

Kolme eniten vastauksia saanutta teemaa ovat levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit, levennysosan jälkitiivistyminen ja levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen. Lisäksi haastatteluissa tuli vastauksia teemojen ulkopuolelta, mutta ne jätetään tässä työssä analyysin ja tulkinnan ulkopuolelle. Kuvan 49 kuvaajassa on esitetty teeman vastausten osuus kaikista vastauksista prosentteina. Teeman vastauksen arvo prosentteina on laskettu jakamalla tietyn teeman saama vastausten kappalemäärä kaikkien vastausten kappalemäärällä ja kertomalla saatu tulos luvulla 100.



Kuva 49. Teeman vastausten osuus prosentteina kaikista vastauksista

Kuvaajasta voidaan todeta, että suurin osa vastauksista, noin 23 % on koskenut teemaa levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit. Seuraavaksi eniten, noin 13–14 % vastauksista ovat saaneet teemat levennysosan jälkitiivistyminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen ja levennysosan luiskakaltevuus. Vähiten vastauksia, noin 6–8 % ovat saaneet teemat levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen, levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen sekä tierakenteen kuivatus.

5.2.3 Analyysin tulosten tulkinta

Taulukossa 5 on esitetty yhteenveto analyysin perusteella saaduista tuloksista. Taulukossa on rooleittain painotetut vastausmäärät prosentteina ja sijoituksen mukaan. Sijoitus on määritelty välillä 1–8 eniten vastauksia saaneista teemoista vähiten vastauksia saaneeseen teemaan prosenttimäärän mukaisesti tarkasteltuna. Osuus kaikista vastauksista on teeman saama vastausmäärä kaikista vastauksista prosentteina ja sijoitus määritelty vastaavasti kuin rooleittain. Viimeisessä sarakkeessa on kunkin teeman sijoitusten 1–3 yhteenlaskettu määrä, jonka avulla pyritään arvioimaan kolme eniten

rooleittain ja kaikista vastauksista vastauksia saaneet teemat. Taulukossa harmaalla pohjalla on sijoitukset 1–3 ja viimeisessä sarakkeessa yhteensä sijoitusten 1–3 määrä.

Taulukko 5. Analyysien tulokset ja teemojen sijoitukset välillä 1–8 analyysien tulosten perusteella

Luokka	Teema	Rakennuttaja		Suunnittelija		Rakentaja		Osuus kaikista vastauksista		Yhteensä sijoituksia 1–3
		%	sijoitus	%	sijoitus	%	sijoitus	%	sijoitus	
Esiselvitys ja yleissuunnittelu	Tierakenteen kuivatus	52	1	22	8	40	2	7	8	2
	Levennysosan luiskakaltevuus	41	3	32	6	21	6	13	5	1
	Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen	6	8	53	1	6	8	8	6/7	1
Tie- ja rakennus-suunnittelu	Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen	51	2	26	7	26	5	8	6/7	1
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen	26	5	33	5	48	1	13	4	1
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen	19	7	46	2	8	7	14	3	2
Toteutus	Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit	32	4	35	4	28	3	23	1	2
	Levennysosan jälkitiivistyminen	22	6	40	3	26	4	14	2	2

Yhteenvedona tutkimustulosten tulkinnasta voidaan todeta taulukon 5 mukaisesti, että Kolme eniten rakennuttajilta vastauksia saanutta teemaa ovat tierakenteen kuivatus, levennysosan ja nykyisen päällysteen limittäminen sekä levennysosan luiskakaltevuus. Kolme eniten suunnittelijoilta vastauksia saanutta teemaa ovat levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen sekä levennysosan jälkitiivistyminen. Kolme eniten rakentajilta vastauksia saanutta teemaa ovat levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen, tierakenteen kuivatus sekä levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit. Kolme eniten vastauksia saanutta teemaa ovat levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit, levennysosan jälkitiivistyminen ja levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen.

Teeman vaikuttavuutta arvioitaessa voidaan todeta, että teema tierakenteen kuivatus on haastattelututkimuksen perusteella vaikuttavin tekijä tien saumahalkeaman muodostumiseen roolikohtaisesti tarkasteltuna. Kaikkien vastausten ja suunnittelijoiden vastausten mukaan teemat levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen sekä levennysosan jälkitiivistyminen ovat olleet vaikuttavimpia. Kaikkien vastausten ja rakentajien vastausten mukaan teema levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit on ollut vaikuttavin. Muut teemat ovat saaneet tasaisesti vastauksia, joten niitä ei voida järjestää vaikuttavuuden perusteella, mutta niillä voidaan kuitenkin todeta olevan vaikutusta. Kaikki teemat ovat saaneet vastauksia, jolloin kaikkia teemoja voidaan pitää vaikuttavina tekijöinä, mutta tekijöiden vaikuttavuus voi vaihdella levennettävän kohteen mukaan.

Analyysien tuloksia tarkastellaan yhdessä teeman saamien sijoitusten 1–3 yhteenlasketun määrän perusteella. Taulukossa 6 on esitetty koonti teemojen saamista sijoituksista. Puolet teemoista eli neljä ovat saaneet yhteenlasketuista sijoituksista kaksi ja neljä teemaa yhden suurimmasta mahdollisesta määrästä neljä. Minkään teeman sijoitusten lukumäärä ei ollut nolla. Sijoituksista kaksi ovat saaneet teemat tierakenteen kuivatus, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit sekä levennysosan jälkitiivistyminen. Yhden sijoituksen ovat saaneet teemat levennysosan luiskakaltevuus, levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen, levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen sekä levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen.

Taulukko 6. Koonti teemojen saamista sijoituksista. Harmaalla pohjalla sijoitukset 1–3 ja viimeisessä sarakkeessa teemojen saamien sijoitusten 1–3 yhteenlaskettu määrä

Luokka	Teema	Rakennuttaja	Suunnittelija	Rakentaja	Osuus kaikista vastauksista	Yhteensä sijoituksia 1–3
Esiselvitys ja yleissuunnittelu	Tierakenteen kuivatus	1	8	2	8	2
	Levennysosan luiskakaltevuus	3	6	6	5	1
	Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen	8	1	8	6/7	1
Tie- ja rakennussuunnittelu	Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen	2	7	5	6/7	1

	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routuminen	5	5	1	4	1
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen	7	2	7	3	2
Toteutus	Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit	4	4	3	1	2
	Levennysosan jälkitiivistyminen	6	3	4	2	2

Taulukon perusteella teemojen jakautumisessa on selkeästi havaittavissa kolme kokonaisuutta ja painopistealuetta. Kokonaisuudet ja painopistealueet muodostuvat teemoista, jotka liittyvät materiaaleihin ja kerrospaksuuksiin, rakenteiden ominaisuuksiin sekä tekniseen toteutukseen. Eniten vastauksia saaneet teemat sijoittuvat toteutusvaiheeseen. Seuraavaksi eniten vastauksia on saaneet teemat sijoittuvat tie- ja rakennussuunnitelmavaiheeseen ja vähiten vastauksia saaneet teemat esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheeseen.

Erot jakautumisessa eivät ole kuitenkaan keskenään verrattuna suuria. Jakautumiseen on voinut vaikuttaa vastausten tulkinta, erot vastaajan roolista tai jopa vastaajalle tuttujen suunnitteluohjeiden painotukset ja sisällöt. Esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheeseen sekä tie- ja rakennussuunnitteluvaiheeseen on sisältynyt kuhunkin kolme teemaa, kun taas toteutusvaiheeseen kaksi, joten tästä ei voida tehdä suoraan päätelmiä hankkeen eri vaiheiden tärkeysjärjestyksestä tien levantämisen saumahalkeamien muodostumiseen. Tämän perusteella voidaan todeta, että selkeiden johtopäätösten tekeminen vaatii lisätutkimusta. Hajontaa oli kuitenkin havaittavissa, kun teemoista puolet ovat olleet haastateltavien mielestä hieman vaikuttavampia kaikkiin teemoihin verrattuna. Nämä neljä teemaa käsitellään seuraavaksi.

Haastatteluvastausten analyysin perusteella tien saumahalkeamaan voidaan vaikuttaa tierakenteen kuivatuksella. Kuivatuksen nykytilan selvittäminen esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa on tärkeää. Nykytilan selvittäminen sisältää muun muassa ojien kunnon ja siirtotarpeiden kartoituksen, kuivatuspuutteiden, laskuojien ja tien kuivatushistorian selvittämisen sekä rumputietojen kartoittamisen. Rumputietojen kartoitus sisältää vähintään tiedot rumpujen määrästä, kunnosta, materiaaleista,

sijainneista, kunnostus- ja jatkamistarpeesta sekä tiedot uusien rumpujen tarpeesta. Hyvä keino selvittää tien kuivatuksen tilaa on maastokäynti. Tierakenteen kuivatuksen suunnittelemiseksi on hyvä tehdä kuivatuksen yleissuunnitelma, jossa huomioidaan laskuojien sijainnit ja hankitaan tarvittavat luvat maanomistajilta tarvittavia kunnostustoimenpiteitä varten. Vaikka hanke etenisi esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheesta tiesuunnitelmavaiheeseen, ei tiealue ole kaikissa tapauksissa riittävä laskuojien kunnostuksen kannalta, joten laskuojien sijaintien selvittäminen pitäisi olla automaattisesti osa esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaihetta. Hoidon ja ylläpidon tehtäväksi jää tien kuivatuksen toimivuuden ylläpito huolehtimalla ojien kunnosta, millä taataan vesien virtaaminen pois tierakenteesta edelleen laskuojiin ja isompiin vesistöihin.

Levennysosan ja nykyisen tien epätasaisella painumisella on haastatteluvastausten perusteella vaikutusta tien levennysosan saumahalkeaman muodostumiseen. Suomessa käytössä olevat suunnitteluohjeistukset käsittävät uuden tien rakentamisen, mutta nykyisten teiden korjaamiseen on vähän ohjeita saatavilla. Usein saumahalkeama muodostuu kohtiin, joissa levennysosa on pysynyt paikoillaan ja toiminut suunnitellusta, kun taas nykyinen tie on painunut epätasaisesti ja suunnitteluohjeista poiketen. Epätasaisen painumisen välttämiseksi nykyisen tien painumakohtien ja pohjaolosuhteiden selvittäminen on tärkeää tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa. Tässäkin selvittämisessä maastokäynti roudattomaan aikaan on hyvä selvittämiskeino. Maastokäynnillä kirjataan tarkasti muistiin nykyisen tien painumakohdat sekä mahdolliset pehmeiköt, turpeikot ja muut painumia mahdollisesti aiheuttavat kohdat. Havainnoimalla päällysteen lisäksi ympäröivää maastoa voidaan saada viitteitä painumia aiheuttavista tekijöistä.

Painumakohdista tehtävillä kantavuusmittauksilla ja takaisinlaskennalla voi saada hyödyllistä tietoa nykyisen tien pohjamaasta ja rakennekerroksista, sillä nykyiset ohjeistukset esimerkiksi rakennekerrosten suhteen voivat poiketa nykyisen tien rakentamisen aikaan käytössä olleista ohjeistuksista. Turvekohtien suunnittelussa tulee pohtia ja vertailla eri vaihtoehtoja, koska useinkaan ei ole mahdollista poistaa turvetta kokonaan nykyisen tien alta. Myös tien kantavuuden varmistamiseen leventämisen jälkeen tulee kiinnittää huomiota. Kantavuutta voidaan parantaa esimerkiksi koko tien levyisellä sekoitusjyrsinnällä ja murskelisäyksellä. Levennysosa suunnittelussa tulisi huomioida käytettävissä oleva kalusto, jotta suunnitelmat ovat toteutettavissa esimerkiksi leveyden puolesta. Vuoropuhelu kaikkien hankkeen osapuolten kesken koko hankkeen

ajan tai vähintään koko suunnittelun ajan voi tehostaa resurssien käyttöä sekä lisätä kaikkien osapuolten tietotaitoa leventämisrakentamisesta ja näin ollen parantaa suunnitelmien ja kaluston yhteensopivuutta.

Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit voivat haastatteluanalyysin mukaan vaikuttaa tien levennysosan saumakohdan halkeamiseen. Toteutusvaiheessa tulee reagoida poikkeamiin matalalla kynnyksellä, erityisesti suunnitelmapoikkeamiin, materiaalimuutoksiin ja laatupoikkeamiin. Suunnitelmien läpikäynti yhdessä kaikkien hankkeen osapuolten kesken ennen rakentamisen aloittamista on hyvä keino vahvistaa yhteydenpitoa eri osapuolten kesken, kuten myös rakentajan kuuleminen jo suunnitteluvaiheessa sekä suunnittelijan mukana oleminen työmaan aloituspalaverissa. Reagointi poikkeamiin korostuu toteutusvaiheessa, mutta se on kuitenkin jokaisen hankkeen osapuolen tehtävä kaikissa hankkeen vaiheissa. Aikaisessa vaiheessa tehty reagointi ja siitä johdetut toimenpiteet voivat säästää monelta kiemuralta hankkeen edetessä, jolloin esimerkiksi aikataulu- ja kustannusmuutokset voivat pienentyä verrattuna viime hetken reagointiin.

Toteutusvaiheessa levennysosan ja nykyisen tien epätasaisiin kerrospaksuuksiin ja materiaaleihin vaikuttaminen alkaa nykyisen tien luiskan avaamisesta ja tien reunan leikkaamisesta. Leikkauskohdan tulee ulottua niin laajalle, että nykyisen tien rakennekerrokset ovat selkeästi havaittavissa. Leikkaussaumaa ei saa tehdä pystysuoraan vaan ohjeistusten mukaisesti kaltevuuteen 1:2–1:4. Leikkauskohtaa tulee seurata niin nykyisten rakennekerrosten varisemisen, pohjamaan vaihteluiden ja päällysteen reunan kunnan seuraamiseksi sekä luiskatäytön poistamisen varmistamiseksi. Leikkauskohtaa tulee seurata suunnitelmiin ja reagoida aktiivisesti poikkeamiin. Auraamismenetelmää käyttö tulee harkita tapauskohtaisesti ja toteutuksen aikana tulee varmistaa riittävä luiskan avaaminen ja syvyyden tarkistaminen sekä luiskatäyttöjen poiston varmistaminen levennysosan kantavuuden varmistamiseksi etenkin levennyksissä, joissa levennysosan päälle ohjataan liikennettä. Auraaminen on hyvä menetelmä kohteissa, joissa nykyinen tie on rakennettu eli siinä on havaittavissa selkeät rakennekerrokset, tiessä ei ole havaittavissa vakavia kuntopuutteita, kuten routavaurioita, syviä painumia tai kuivatuspuutteita sekä pohjamaa on riittävän kantavaa ja tasalaatuista.

Tien levennysosan ja nykyisen tien rakennekerrosten yhteensovittaminen tehdään tasalaatuisten materiaalien ja kerrospaksuuksien avulla. Tämä voi olla kuitenkin usein

hyvin haastavaa nykyisen tien rakennekerrosten ollessa muotoutuneet ajan saatossa tehtyjen korjausten ja parantamistoimenpiteiden myötä, jolloin tämän hetken suunnitteluohjeiden avulla tehty mitoitus ei sovellu sellaisenaan levennysosan mitoittamiseen ohjeiden ollessa tarkoitettu uusien teiden rakentamiseen. Ohjeistukset eivät kuitenkaan anna malleja ohjeistusten soveltamiseen, joten usein ratkaisuna on niin sanotusti tehdä varman päälle ja noudattaa ohjeita. Tästä taas voi olla seurauksena se, että laadukkaasti nykyisten ohjeiden mukaan rakennettu levennysosa pysyy paikoillaan vuodenaikojen vaihtelusta huolimatta, kun taas nykyinen tie esimerkiksi routii, minkä seurauksena nykyinen tie on talvella levennysosaa korkeammalla ja kesällä matalammalla, jolloin uuden ja vanhan osan väliin muodostuu saumahalkeama.

Ohjeista poikkeaminen tien leventämissuunnittelussa ja -rakentamisessa vaatii perusteluja ja riskinottoa, mikä ei kuitenkaan ole yleistä rakentamisessa, koska kaikkea rakentamista ohjaa erilaiset lait, ohjeet ja sopimukset. Yleensä suunnitteluvaiheessa määritetään levennysosalle tehtävät rakenteet, mutta jätetään myös vaihtoehto, jossa levennysosa määritetään tehtäväksi nykyisen tien rakennekerrosten mukaisesti. Käytännössä kuitenkin tien luiskan avauksen jälkeen levennysosa tulee rakentaa mahdollisimman nopeasti rakennekerrosten varisemisriskin vuoksi, jolloin nykyisen tien rakennekerrosten tutkiminen laboratoriotasolla on lähes mahdotonta, kuten myös kohteeseen räätälöityjen materiaalien hankkiminen nopealla aikataululla. Nykyisen tien rakennekerrosten ominaisuuksia voidaan selvittää suunnitteluvaiheessa häiriintyneiden näytteiden otolla tierakenteesta. Näytteistä määritetään laboratoriossa rakeisuuskäyrä, maalaji, vesipitoisuus ja routivuus. Näiden tietojen avulla voidaan yrittää määrittää nykyisen tien rakennekerrosten materiaalien ominaisuuksia, kuten E-moduuli ja routaturpoama, joiden avulla voidaan tehdä laskelmia ja arvioida esimerkiksi nykyisen tien routanousun suuruutta. Laskelmin saatuja tietoja voidaan hyödyntää levennysosan rakennekerrosten mitoittamisessa, jolloin nykyisestä tierakenteesta ja levennysosasta saadaan paremmin samalla tavalla toimiva rakenne, mikä on leventämisrakentamisen tavoite saumahalkeaman muodostumisen välttämiseksi. Rakennetulla tiellä, jossa on havaittavissa selkeät rakennekerrokset, rakennekerrosten yhteensovittaminen on helpompaa ja erillistä levennysosan mitoittamista ei ole välttämätön tehdä nykyisen tien rakenteiden vastatessa ohjeistuksen mukaisesti määritettäviä rakenteita.

Haastatteluvastausten analyysin perusteella levennysosan jälkitiivistyminen vaikuttaa tien levennysosan ja nykyisen tien saumahalkeaman muodostumiseen.

Jälkitiivistymiseen voidaan vaikuttaa huolellisella tiivistystyöllä, mikä on kuitenkin usein haastavaa levennysosan kapeuden vuoksi. Kapeat levennykset eivät yleensä ole tiivistettävissä varsinaisella tiivistyskalustolla sen ollessa tarkoitettu leveämmille alueille, jolloin tiivistämisessä käytetään esimerkiksi kaivinkoneen kauhaa, kuorma-autolla ajoa tiivistettävän osan yli sekä tiivistämistä tärylätkällä. Tiivistämistyön helpottamiseksi suunnittelussa tulee vertailla vaihtoehtoja, joissa levennys tehtäisiin vain toiselle puolelle tietä ja näin levennysosasta saataisiin mahdollisesti leveämpi, jolloin levennysosa olisi mahdollista tiivistää esimerkiksi ajettavalla valssijyrällä. Levennysosan ja nykyisen tien väliin voi joissakin tapauksissa olla riskinä jäädä rako, mikä voidaan välttää käyttämällä sopivan kokoista tiivistämiskalustoa, jolla päästään mahdollisimman lähelle levennysosan ja nykyisen tien välistä kohtaa. Veden käyttö tiivistämisen apuna on suositeltavaa.

Tiivistämistyön laadunvalvonta noudattelee myös uuden tien rakentamisen yhteydessä tehtäviä laadunmittauksia, mikä on toimiva tapa levennysosan ollessa uusi rakenne. Tiivistämistyön laatu mitataan yleensä vertaamalla toteutuneen rakenteen tiiveyssuhdetta suunnittelijan määrittelemään arvoon. Tiivistämistyö tulee tehdä huolellisesti ja ylitiivistämistä tulee välttää. Reagointi poikkeuksiin niin tiivistämistyön aikana kuin mittaustuloksiin vaikuttaa tiivistämistyön lopputulokseen. Mahdollisimman nopeasti tehty reagointi edesauttaa korjaavan tai muun toimenpiteen käsittelyssä ja päättämisessä hyvissä ajoin, jolloin säästyy resursseja sekä aikataulumuutokset pysyvät maltillisina. Mahdollisuuksien mukaan levennysosan jälkitiivistymiselle on jätettävä aikaa ennen päällystystyötä, mutta kuitenkin siten, että liikennettä ei ohjata päällystämättömälle levennysosalle.

6 HAASTATTELUTULOSTEN SOVELTAMINEN

Työn tuloksia pyritään soveltamaan suunniteltavaan tien levennyskohteeseen. Kohteeseen on valmistumassa tiesuunnitelma syksyllä 2021. Sovellusehdotukset tehdään tiesuunnitelmavaiheen mukaisesti eli teemojen levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen sekä levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen perusteella.

6.1 Suunniteltavan kohteen esittely

Kohde sijaitsee Kainuussa, Kuhmossa. Suunnittelualue alkaa Pohjois-Karjalan ja Kainuun maakuntarajalta ja päättyy Rastinkylään, Petäjälammentien liittymään. Suunnittelukohde rajautuu Rastinkylässä aiemmin parannettuun tieosuuteen, joka ulottuu Rastinkylästä kantatielle 76. Suunnittelualueen pituus on noin 16,8 km. Nykyisen tien poikkileikkaus koko suunnittelualueelta on 7,0–7,5/6,0–6,5. Vuorokausiliikenteen määrä suunnitteluosuudella on keskimäärin 500 ajoneuvoa, josta raskaan liikenteen osuus on noin 22 %.

Suunnittelualueella on useita tien leventämistä edellyttäviä puutteita. Tien pystygeometria on pienipiirteistä eikä se täytä pyöristyssäteiden osalta suunnitteluohjeiden mukaisia arvoja, minkä vuoksi myös näkemäalueet jäävät puutteellisiksi. Tien suorilla osuuksilla on katvealueita. Kantatien pientareet ovat kapeat, minkä vuoksi raskaan liikenteen, jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden turvallisuus on puutteellista. Hankkeen tavoitteena on parantaa ajoneuvoliikenteen olosuhteita ja turvallisuutta.

Pohjatutkimusohjelma laadittiin keväällä 2021. Kohteeseen on tehty maatutkaluotaus kesällä ja kairaukset valmistuvat syksyllä 2021. Maatutkaluotauksen lisäksi kohteeseen on tehty maastokäynti sekä kairauksia ja häiriintyneiden näytteiden ottoa maatutkaluotauksen referenssipisteiksi. Lähtötietoina käytössä on vanhoja suunnitelmia, joiden perusteella on todettu, että tietä on parannettu ajan saatossa useilla eri menetelmillä. Lisäksi kohteesta on tehty maastomalli. Kohteen maasto on hyvin vaihtelevaa ja nykyinen tie kulkee niin penkereellä kuin maa- ja kallioleikkauksissa. Sovellusehdotukset tien leventämiseen tehdään niiden tietojen pohjalta, mitä on käytettävissä työn kirjoitushetkellä.

6.2 Tulosten soveltamishdotukset suunniteltavaan kohteeseen

Ensimmäinen teema tien leventämishankkeessa tiesuunnitelmavaiheessa on levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen. Päällysteen limittäminen tulee suunnitella ja toteuttaa siten, että levennysosalle kantavan kerroksen päälle tulee yksi päällystekerros, jonka jälkeen tie päällystetään koko leveydeltä. Päällystesaumat eivät saa missään päällystekerroksessa olla kohdakkain. Luiskan avauksen yhteydessä nykyisen rakenteen leikkauspinnan pysyvyyttä, päällysteen reunan kuntoa ja pohjamaata on seurattava ja tarvittaessa leikattava etäämmältä ajoradan puolelta. Olosuhteiden muutoksiin tulee reagoida ja olla yhteydessä tilaajan valvojaan. Leikkauksen yhteydessä on myös seurattava nykyisen tien reunan urasyvyyttä ja painumia. Jos tien reunassa havaitaan painumia, tulee päällystys suunnitella siten, että painumien kohdalle tulee muuta tietä paksumpi päällystekerros, jotta tien kaltevuus saadaan oikeanlaiseksi eikä painumat kertaannu. Profilointimurskeeksi tulee valita riittävän hienorakeinen murske, esimerkiksi 0/22 tai harkinnan mukaan 0/16, jotta saavutetaan riittävä päällystepaksuus ensimmäiseen päällystekerrokseen. Päällysteen limittämisen perusteet on hyvä kirjata suunnitteluvaiheessa esimerkiksi työselostukseen.

Toisena teemana on levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen. Jotta maa routii, tarvitaan pakkasta, vettä ja routiva maa-aines. Jos näistä jokin voidaan poistaa, maa ei roudi tai routiminen vähenee. Kohteen lähtötietojen mukaan osassa suunnittelualuetta tien nykyinen kantavan ja jakavan alapuolella oleva rakennekerros voidaan olettaa lievästi routiviksi tai routiviksi. Suomen olosuhteista ei voi poistaa pakkasta, joten suunnittelussa voidaan epätasaisista routimista yrittää tasoittaa tehokkaan kuivatuksen suunnittelulla sekä nykyisen tien ja levennysosan routanousueron tasoittamisella selvittämällä nykyisen tien routanousua takaisinlaskennalla. Takaisinlaskennan avulla voitaisiin mitoittaa tien päällysrakenne, joka vastaa nykyisen tien routanousua. Yleensä levennysosa tehdään käytännössä routimattomista materiaaleista ja kun epätasainen routiminen aiheutuu nykyisen tien liikkeessä roudan vaikutuksesta, levennysosa pysyy paikoillaan ja muodostuu saumahalkeama.

Kuivatuksen suunnittelua ja toteutusta varten tulee selvittää useita lähtötietoja. Toteutusvaihetta varten selvitetään tarkasti rumpujen sijainnit, koot, jatkamistarve, materiaali, kunnostus- ja puhdistustarve sekä uusien rumpujen ja rumpupaikkojen tarve. Myös liittymien kohdalta selvitetään rumputiedot sekä rumpujen siirtotarve levennyksen

ulottuessa kauemmas liittymään. Laskuojista selvitetään sijainnit, kunnostustarve ja tarvittaessa maanomistajilta lupa kunnostukseen, eli käytännössä tarkistetaan, sijaitsevatko laskuojat tiealueen ulkopuolella ja onko tiealue riittävä kunnostuksen toteuttamiseen. Laskuojien kohdalla on selvittävää myös olemassa oleva puusto ja raivaustarve. Ojat suunnitellaan siten, että ojan pohja on vähintään 20 cm alempana kuin tien rakennekerrokset. Jos tämä ei ole mahdollista, pohditaan salaojien tai muiden kuivatusjärjestelmien tekemistä. Pengerkohdissa ojan pohja voi olla korkeammalla, kunhan varmistutaan veden virtaamisesta ojissa pois tierakenteesta ja että ojissa ei ilmene padotusta missään kohdassa. Levennysosan luiskaverhouksen materiaali valitaan siten, että se on vettä läpäisevää tai luiskatäyttöön tehdään aukkoja suunnitteluohjeistusten mukaisten välimatkojen välein, jotta estetään veden virtaaminen tierakenteesta tien pituussuunnassa. Luiskaverhoilun materiaalin tulee olla sellaista, että se ei varise missään tilanteessa ojaan ja aiheuta ojien tukkeutumista. Epätasaiseen routimiseen voidaan yrittää vaikuttaa levennysosan materiaalivalinnoilla, mutta silloin tulee varmistua levennysosan riittävästä kantavuudesta luiskien sortumisen estämiseksi.

Kolmas teema on levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen. Epätasaiseen painumiseen voi vaikuttaa pohjamaan painuminen ja rakennekerrosten painuminen tai molemmat. Myös ensimmäisen teeman kohdalla läpikäyty päällysteen urautuminen voi näkyä tien pinnassa epätasaisena painumisena. Painumisen aiheuttajan syy on aina selvittävää, jotta voidaan tehdä oikeat toimenpiteet ja välttyä toistamasta samoja, painumia aiheuttavia ratkaisuja. Painuma voi aiheutua esimerkiksi pohjamaan kantavuuspuutteista tai tien rakennekerrosten alapuolisesta turvekerroksesta.

Maastokäynti olisi hyvä tehdä painumakohtien ja niiden aiheuttajien arvioimisen lähtötiedoiksi. Maastokäynnillä kirjataan muistiin painuneet kohdat ja havainnot ympäröivästä maastosta sekä mahdollisista painumien aiheuttajista ja näitä tietoja voidaan tarkentaa tiesuunnitelmavaiheessa pohjatutkimuksilla. Parannettavan tien ympäröivien teiden parantamishistoriasta ja vanhoista suunnitelmista voi myös etsiä tietoa tehdyistä ratkaisuista ja niiden toimivuudesta. Jos lähistöllä on tehty samankaltaista tien levennystä lähiaikoina, poikkeamaraporteista ja muista poikkeamien ilmoitusmenetelmistä voisi saada tietoa kohteen olosuhteista ja tukea suunnitteluratkaisujen arviointiin. Painumakohtien kehitystä voi yrittää selvittää esimerkiksi Tiekuva.com -palvelusta tai Google Mapsista tutkimalla tien pinnan kuntoa usean vuoden ajalta.

Nykyisen tien ollessa pehmeällä pohjamaalla, tulee pohjamaan laatu selvittää kairaamalla ja näytteenotolla. Turvekohdissa on tärkeää selvittää, onko nykyisen tien alla turvetta. Pohjamaan painumisastetta voi arvioida ja tarvittaessa suunnitellaan pohjanvahvistustoimenpiteet. Pohjanvahvistustoimenpiteitä voivat olla esimerkiksi turvekohdissa massanvaihto ja koheesiomaiden kohdalla esikuormitus. Tosin tien leventäminen on usein suhteellisen nopeaa rakentamista, jolloin esikuormituksen vaatimaa aikaa ei välttämättä ole käytettävissä. Kuten haastatteluvastauksissakin tuli ilmi, turvekohdissa paras ratkaisu olisi kaivaa turve kokonaan pois tierakenteen alta ja rakentaa uudet rakennekerrokset. Käytännössä tämä ei kuitenkaan ole useinkaan kustannussyistä mahdollista, minkä vuoksi massanvaihto levennyksen alle todettiin hyväksi vaihtoehdoksi sekä teräsverkkojen tai muiden vahvisteiden käyttö. Myös ohjeistuksissa tien leventäminen kaivamalla käsittää nykyisen tien leikkauksen kantavaan pohjamaahan saakka, mikä voidaan tulkita siten, että myös turve on poistettava levennettävän osan alapuolelta.

Levennyksen suunnittelussa on hyvä pitää mielessä käytettävän kaluston ominaisuudet ja toteutettavuus olemassa olevalla kalustolla. Levennysosan tiivistäminen on usein haastavaa levennysosan ollessa kapeampi kuin käytettävä tiivistyskalusto. Levennysosa tulee suunnitella siten, että mahdollisuuksien mukaan levennys olisi vain toisella puolella tietä ja siten leveämpi ja helpommin tiivistettävissä. On kuitenkin huomioitava, että levennys ei pompi tien laidalta toiselle, vaan rakenne on yhtenäinen esimerkiksi liittymien välisellä matkalla. Levennysosan tiiveys määritetään vaatimusten mukaisesti ja mahdollisiin poikkeuksiin reagoidaan ottamalla yhteyttä tilaajan valvojaan.

Ennen rakentamisen alkamista tulisi pitää yhteinen aloituskokous rakennuttajan, suunnittelijan ja rakentajan kesken. Kokous sijoittuisi levennyskohteeseen, jossa käytäisiin läpi suunnitelmat maastokatselmuksen yhteydessä. Kokouksessa käytäisiin läpi esimerkiksi suunnitteluperusteet, haastavat kohdat, toteutusmenetelmät, huomioitaisiin mahdollisia puutteita sekä arvioitaisiin mahdollisia haasteita ja riskejä. Tie- ja rakennussuunnitteluvaiheessa tähän voisi varautua esimerkiksi kirjaamalla haastavia kohtia ja suunnitteluperusteita suunnitteluasiakirjoihin näkyviin, esimerkiksi pituusleikkauksiin. Yhteinen aloituskokous voisi madaltaa yhteydenpidon kynnystä työn aikana.

7 YHTEENVETO

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tutkia tien levennysosan ja nykyisen tien välisen saumahalkeaman muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimus suoritettiin perehtymällä aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen, aiempiin tutkimuksiin, ohjeistuksiin sekä haastatteleamalla rakennuttajia, suunnittelijoita ja rakentajia, joilla on kokemusta tien leventämissuunnittelusta ja -rakentamisesta. Tutkimuskysymystä tarkasteltiin tien leventämishankkeen eri osa-alueiden kannalta, joita ovat esiselvitys- ja yleissuunnittelu, tie- ja rakennussuunnittelu sekä toteutus. Tutkimuskysymykseksi asetettiin: Mitkä tekijät vaikuttavat tien levennysosan saumakohdan halkeamiseen?

Perehtymällä kirjallisuuteen, aiempiin tutkimuksiin ja ohjeistuksiin saatiin kokonaiskuva leventämisrakentamiseen liittyvistä ohjeista, käytännöistä sekä aiemmista tutkimuksista ja tutkimustuloksista. Nämä auttoivat tarkentamaan tutkimuskysymystä ja siihen liittyvää teoreettista kehystä. Ohjeistuksista ja aiemmista tutkimustuloksista pyrittiin löytämään tekijöitä, joilla tämän hetken tiedon mukaan voi olla vaikutusta tien levennysosan ja nykyisen tien välisiin saumahalkeamiin. Haastattelukysymysrunko muodostettiin tien levennyshankkeen eri osa-alueiden, roolien ja mahdollisten vaikuttavien tekijöiden mukaan. Tekijöiksi muodostui Roadexin aiempien tutkimusten ja kirjallisuudesta löytyvän teorian mukaan

- tierakenteen kuivatus
- levennysosan luiskakaltevuus
- levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen
- levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen
- levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen
- levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen
- levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit
- levennysosan jälkitiivistyminen.

Tekijöistä muodostettiin haastattelutulosten käsittelyn ja analyysin teemat. Teemat jaettiin tien levennyshankkeen eri osa-alueiden mukaan kolmeksi ryhmäksi sen mukaan, missä vaiheessa kyseiseen tekijään voidaan eniten tien levennyshankkeessa vaikuttaa. Haastattelututkimuksen vastaukset jaettiin analysointia ja tulkintaa varten näiden teemojen alle sen mukaan, mihin vaiheeseen ja teemaan haastateltava oli vastauksensa

osoittanut. Haastatteluissa tuli lisäksi vastauksia näiden teemojen ulkopuolelta ja nämä vastaukset käsiteltiin kuvailemalla vastausten sisältö, mutta varsinaista analyysia ja tulkintaa ei niille tehty. Tekijöiden vaikuttavuutta arvioitiin analysoimalla vastaustuloksia roolikohtaisten vastausmäärien ja teemojen vastausmäärien avulla.

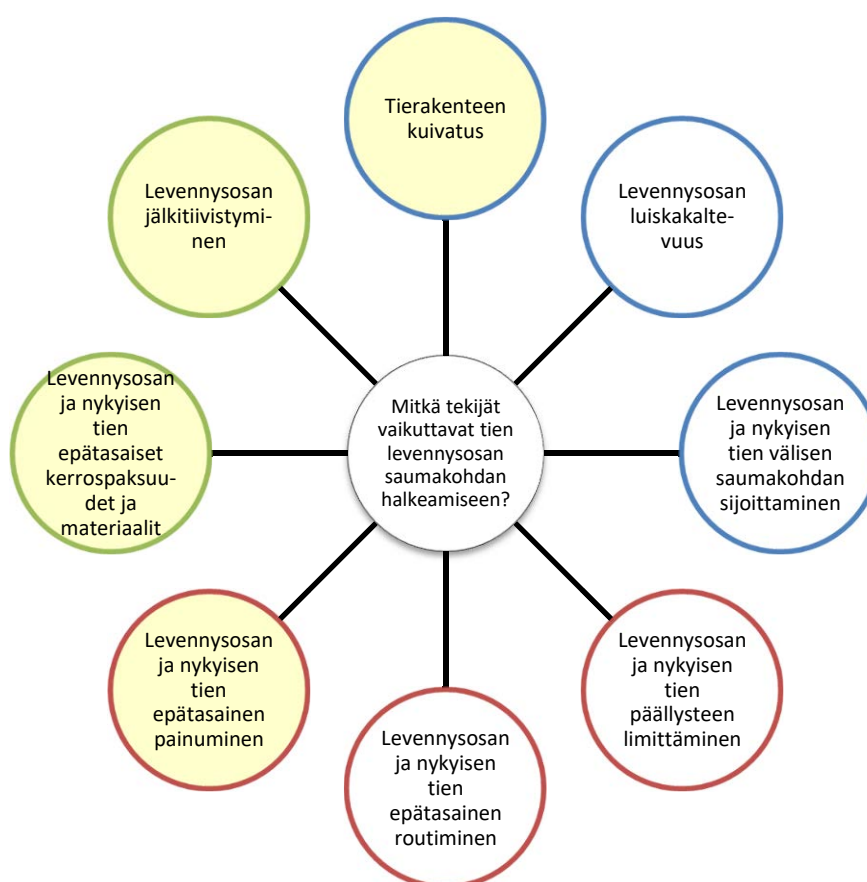
Roolikohtaisesti tarkasteltuna kolme eniten rakennuttajilta vastauksia saanutta teemaa olivat tierakenteen kuivatus, levennysosan luiskakaltevuus ja levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen (Taulukko 7). Kolme eniten suunnittelijoilta vastauksia saanutta teemaa olivat levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen sekä levennysosan jälkitiivistyminen. Rakentajilta kolme eniten vastauksia saanutta teemaa olivat tierakenteen kuivatus, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen sekä levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit. Kaikista vastauksista kolme eniten vastauksia saanutta teemaa olivat levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit sekä levennysosan jälkitiivistyminen.

Taulukko 7. Kolme eniten vastauksia saanutta teemaa rooleittain ja kaikista vastauksista tarkasteltuna. Harmaalla pohjalla tämän perusteella määritetyt vaikuttavimmat teemat.

Luokka	Teema	Rakennuttaja	Suunnittelija	Rakentaja	Kaikki vastaukset
Esiselvitys ja yleissuunnittelu	Tierakenteen kuivatus	x		x	
	Levennysosan luiskakaltevuus	x			
	Levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittaminen		x		
Tie- ja rakennussuunnittelu	Levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen	x			
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen			x	
	Levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen		x		x
Toteutus	Levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit			x	x
	Levennysosan jälkitiivistyminen		x		x

Taulukon 7 mukaisesti voidaan huomata, että kaikilla teemoilla on jonkin roolin tai kaikkien vastausten perusteella vaikutusta tien levennysosan saumahalkeaman

muodostumiseen. Puolet teemoista on olleet jonkin roolin tai kaikkien vastausten perusteella vaikuttavia ja puolet taas joko kahden roolin tai roolin ja kaikkien vastausten perusteella. Kuvassa 50 on esitetty tutkimuskysymys ja teemat. Sinisellä reunuksella olevat teemat liittyvät esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheeseen, punaisella reunuksella olevat tie- ja rakennussuunnitteluvaiheeseen ja vihreällä reunuksella olevat toteutusvaiheeseen. Valkoisella pohjalla olevat teemat olivat joko jonkin roolin tai kaikkien vastausten perusteella vaikuttavia ja keltaisella pohjalla joko kahden roolin tai roolin ja kaikkien vastausten perusteella vaikuttavia.



Kuva 50. Tutkimuskysymys ja teemat

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että kaikilla edellä mainittujen teemojen mukaisilla tekijöillä on vaikutusta tien levennysosan saumahalkeaman muodostumiseen. Yleispäteviä määrittäviä tekijöistä ei voida tällä aineistolla kuitenkaan tehdä. Määritetyt tekijät ovat tyypillisimpiä, mutta eivät välttämättä edusta kaikkia mahdollisia tapauksia. Tapauskohtaisesti eri tekijöiden ja niiden muodostamien kombinaatioiden vaikutusten merkitys vaihtelee halkeamien muodostumiseen, minkä vuoksi ei voi yleisesti sanoa merkittävyyssjärjestystä, vaan kaikki tekijät tulee ottaa tasapuolisesti huomioon jokaisessa kohteessa kohteen erityispiirteiden mukaisesti.

Tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että tien levennyssauman halkeaman muodostumiseen voidaan vaikuttaa esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa huomioimalla tierakenteen kuivatus, levennysosan luiskakaltevuus ja levennysosan ja nykyisen tien saumakohdan sijoittaminen. Tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa taas vaikutusta on levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittämisen, levennysosan ja nykyisen tien routimisen sekä levennysosan ja nykyisen tien painumien huomioimisella. Toteutusvaiheessa taas tien levennysosan saumahalkeaman muodostumiseen on vaikutusta levennysosan ja nykyisen tien epätasaisilla kerrospaksuuksilla ja materiaaleilla sekä levennysosan jälkitiivistymisellä.

7.1 Jatkotutkimus- ja kehitysehdotukset

Tien leventämisen suunnittelusta ja rakentamisesta löytyy vähän Suomessa tehtyjä tutkimuksia. Erillistä tien levennysten suunnitteluohjeistusta ei Suomesta löydy. Ohjeistus on suunnattu uusien välien rakentamiseen. Suomen olosuhteisiin hyödynnettävissä olevia julkaisuja löytyy jonkin verran, esimerkiksi Islannista ja Norjasta. Tämän tutkimuksen tulosten ja aiempien tutkimusten vähäisen määrän perusteella tien leventämisen suunnittelun ja rakentamisen sekä levennysrakenteiden kehittäminen Suomen olosuhteissa vaatii selkeästi lisää tutkimustyötä ja selvittämistä. Suomessa leventämisrakentamiseen haasteita aiheuttaa muun muassa ilmasto-olosuhteet, koko ajan kuormittavammaksi muuttuva raskas liikenne sekä tiestön vaurioituminen korjausvelan kasvaessa. Tien leventämisen onnistuminen on yksi merkittävä tekijä liikenteen turvallisuuden ja tienpitoon käytettävien kustannusten kannalta.

Tien levennysrakenteet ovat kohteiden mukaisesti kaikki erilaisia. Yleistyksiä rakenteista on hankala tehdä esimerkiksi vaihtelevien pohjaolosuhteiden, tien rakennushistorian, kohteen maantieteellisen sijainnin ja tietä kuormittavan liikenteen koostumuksen vuoksi. Rakentamiseen liittyvien epävarmuustekijöiden määrä kasvaa, mitä pidemmästä kohteesta, haastavammasta maastosta ja monipuolisemmasta tien rakentamishistoriasta on kyse. Epävarmuustekijöiden määrä taas vaikuttaa suoraan hankkeeseen liittyvien riskien määrään. Tämän vuoksi olisi hyödyllistä kehittää tien leventämisrakentamisen hankemuotoa. Käytettävä hankemuoto voisi olla jonkinlainen ST-urakkamuoto tai kevennetty allianssi, jossa kaikki hankkeen osapuolet, rakennuttaja, suunnittelija ja rakentaja olisivat mukana lähtötietojen hankinnasta toteutukseen. Tällaisella hankemuodolla haastatteluvastauksissa usein esiin tulleet yhteinen tahtotila, riittävä ja

oikeiden lähtötietojen hankinta, vaihtoehtojen vertailu, sopiva suunnittelun tarkkuus kohteen mukaisesti, kustannustehokkuus, reagointi poikkeamiin sekä laatu olisi helpoin toteuttaa ja varmistaa. Jo lähtötietojen hankinnassa tarvittavat useat eri tekniikkalajit ja hankkeen osa-alueiden osaaminen olisivat mukana heti hankkeen alusta saakka, mikä vahvistaisi yhteistyön ja yhteisen tahtotilan muodostumista. Riskit jakaantuisivat tasaisemmin ja oppiminen sekä kehittyminen voisi tulla jopa luonnostaan asiantuntijaryhmässä.

Kuten edellä todettu, tien levennysrakentaminen sisältää paljon epävarmuustekijöitä, mitkä taas vaikuttavat suoraan riskien määrään. Riskien kartoittamiseen voisi kehittää työkaluja, kuten infra-alalla käytössä olevan infrariskikarttatyyppisen matriisitaulukon. Suunnittelun aikaista riskiarviointia voisi kehittää ja tätä kautta tietoa riskeistä siirtyisi suunnitelmaan ja myös sitä kautta tarjouspyyntöasiakirjojen laatijoille sekä mahdollisesti rakennuttajille, urakalaskentaan ja valituille urakoitsijoille. Taulukko olisi esimerkiksi laskentapohja, jonka avulla huomattaisiin kohteeseen sisältyviä riskejä ja niihin liittyviä tekijöitä. Riskit olisivat esimerkiksi lähtötietojen perusteella saatavia tietoja kohteesta, kuten pohjaolosuhteet, tien pinnan vauriot, kuivatuspuutteet, tien rakentamishistoria, päällysteen kunto ja paksuus, tien pinnan taso, luiskakaltevuus, luiskan materiaali sekä nykyisen tien rakennekerrosten materiaalit.

Jos tien levennyshankkeeseen pystyttäisiin kehittämään riskimatriisi, sen käyttöä voisi kehittää eteenpäin lähtötietojen hankinnan työkaluksi, esimerkiksi jonkinlaiseksi taulukkopohjaiseksi ohjelmaksi. Riskimatriisin tulosten perusteella saataisiin siis selvitettyä kohteen eniten riskejä sisältävät tekijät, haastavat kohdat ynnä muut tien leventämiseen vaikuttavat tekijät. Ohjelma sisältäisi näiden tekijöiden perusteella kohteeseen tarvittavien lähtötietojen hankintaan ohjeet esiselvitysvaiheessa ja tiesuunnitelmavaiheessa. Ohjelman avulla pystyttäisiin kohdentamaan tutkimuksia ja selvityksiä, jolloin mahdollisesti saataisiin riittävän tarkat ja sopivat tutkimukset tarvittavista oikeista kohdista. Ohjelma voisi olla apuväline myös kustannusten arvioinnissa. Ohjelman tausta-aineistoon olisi kerätty kaikki mahdolliset lähtötietojen hankintatavat, kuten rekistereistä ja tietokannoista saatavat tiedot tiestä ja pohjatutkimusten eri menetelmät ja käyttökohteet.

Haastatteluissa todettiin levennysten suunnittelussa ja rakentamisessa kaikkien eri vaiheiden olevan yhteydessä toisiinsa. Tästä on huomattavissa yleisesti rakentamisen

luonne ja miten se korostuu levennysten suunnittelussa ja rakentamisessa. Aiemmat vaiheet vaikuttavat aina seuraavaan vaiheeseen, esimerkiksi lähtötietojen tarkkuus on havaittavissa suunnitelmien tarkkuudessa. Tämän perusteella voisi todeta, että esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaihe ovat tärkeimpiä vaiheita levennysrakentamisen onnistumisessa. Haastatteluvastauksiin perustuen esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa tärkeää on tarkka selvitys- ja analysointityö nykyisen tien kunnosta ja tilasta. Hyödyllistä olisi selvittää tarkasti nykyisen tierakenteen kuivatus, luiskakaltevuudet, luiskien materiaalit ja niiden ulottuvuus, tien pinnan taso ja kaltevuudet sekä jopa mahdollisten rakentajien kalusto. Kuivatuksen selvittämisen pitäisi sisältää rumpujen sijainnin, materiaalin, kunnan ja kunnostus- sekä jatkamistarpeen selvittämisen, laskuojien kunnan ja sijainnin selvittämisen sekä tarvittaessa kunnostuslupien hakemisen maanomistajilta, koska rakennusvaiheessa lupien hakeminen on yksi aikataulua hidastava tekijä. Huonoimmassa tapauksessa maanomistajaa ei tavoiteta ja laskuoja voi jäädä kunnostamatta.

Esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa lähtötietojen tulisi sisältää tarkat tiedot luiskakaltevuuksista koko suunnittelujaksolta, tiedot luiskien materiaaleista ja niiden laajuudesta. Myös nykyisen tien rakennekerrosten materiaalien selvitys on tärkeää. Luiskakaltevuuksien avulla voidaan paremmin arvioida tehtävää levennysratkaisua ja käytettävän menetelmän soveltuvuutta. Luiskan materiaalien ja materiaalin laajuuden avulla voidaan arvioida luiskan kaivutarvetta ja materiaalien menekkiä. Luiskan nykyinen materiaali voi olla luiskatäyttöön tai -verhoukseen soveltumatonta materiaalia, jolloin se täytyy kuljettaa kaivun yhteydessä pois ja täyttövaiheessa tuoda tilalle soveltuva materiaali. Rakennekerrosten materiaalien ominaisuuksien selvittämisen perusteella taas voidaan yhtenäistää nykyisen tien ja levennysosan ominaisuuksia ja parantaa rakenteen samankaltaista toimivuutta. Rakentamisen aikana luiskan avauksen jälkeen materiaalien arviointiin ei ole ylimääräistä aikaa, koska uudet rakennekerrokset olisi hyvä saada tehtyä mahdollisimman nopeasti avauksen jälkeen nykyisen tien rakennekerrosten varisemisen ja sortumisen välttämiseksi. Rakennekerrosten variseminen ja sortuminen ojaan voi aiheuttaa ojien tukkeutumista, mistä seuraa kuivatusongelmia. Leikkauspinnan variseminen ja sortuminen voi johtaa leikkauksen tekemiseen uudestaan sisemmältä ajoradalta.

Materiaalit olisi hyvä olla mahdollisimman homogeeniset rakeisuuskäyrän perusteella. Käytännössä rakennekerrosten toteuttaminen homogeenisilla materiaaleilla on haastavaa

materiaaleille ja rakennekerroksille asetettujen laatuvaatimusten vuoksi, jotka on määritelty uusille, rakennettaville teille. Materiaalien homogenisoiminen on ongelmallista etenkin rakentamattomilla, kevyesti parannetuilla teillä, joilla rakennekerrokset ovat muodostuneet ajan saatossa tehtyjen toimenpiteiden mukaan. Rakennekerrosten materiaali voi olla esimerkiksi luonnonsoraa tai muuta läheltä ympäristöstä saatua materiaalia ja rakennekerrokset ovat voineet sekoittua ajan saatossa, jolloin routimattomankin kerroksen hienoainespitoisuuden määrän lisääntyminen on tehnyt kerroksesta routivan. Rakennetuilla teillä on yleensä selkeät, nykyisten vaatimusten mukaiset rakennekerrokset ja levennysosan rakennekerrosten yhteensovittaminen on helpompaa.

Nykyisen tien pinnan tason ja kaltevuuksien tarkoilla tiedoilla voidaan arvioida levennysrakenteen laajuutta nykyisen tierakenteen suuntaan sekä päällystämisen yhteensovitusta. Päällystämisen suunnittelun lähtötiedoiksi selvitettyjen nykyisen tien laitojen ja ajourien painumien perusteella voidaan määrittää nykyisen tien ja levennysosan päällysteen poikkikaltevuuden ja pituuskaltevuuden korjaamiseksi tehtävät toimenpiteet. Pienet korjaustoimenpiteet voidaan tehdä jyrsimällä ja tasausmassalla ja suuremmat päällysteen poistolla ja murskelisäyksellä. Painumien kohdalla päällyste tai kantava kerros paksunnetaan, jotta painumat eivät kertaannu ja nykyisen tien pinnan taso on rakentamisen jälkeen oikeassa tasossa levennykseen nähden, koska päällyste suunnitellaan yleensä saman paksuisena koko tien leveydelle. Päällysteen alla käytettävä profiointimurske voi myös vaikuttaa päällysteen lopulliseen paksuuteen. Raekooltaan pienempi, 0/16 tai 0/22 profiointimurske mahdollistaa paksuudeltaan tasaisemman päällystekerroksen tekemisen kuin karkeampi murske. Hienomman murskeen tiivistyspinta ei sisällä niin paljon rakeiden välisiä rakoja ja koloja kuin karkeasta murskeesta tehty kerros, jolloin päällyste levittyy tasaisemmin eikä tunkeudu murskerakeiden väliin, mikä karkearakeisen murskeen kohdalla voi aiheuttaa useiden senttien vaihtelua päällysteen paksuudessa.

Rakentajien kaluston selvittäminen etukäteen voi vaikuttaa suunnitelmien ja toteutettavan rakenteen laatimiseen. Kapeat leventämiset ovat haasteellisia toteuttaa niin tiivistämisen kuin päällysteen levittämisen kannalta. Tiivistämisessä yleensä käytettävät jyrät ja päällysteen levittämisessä käytettävät levittimet ovat ylileveitä kapean leventämisen toteuttamiseen. Myös rakenteen aukaisuun voi olla vaikutusta kalustolla, jotta aukaisupinta saadaan riittävän loivaksi pystysuoran leikkauspinnan sijaan. Rakentajien

kaluston selvittämisellä suunnittelun tueksi voidaan suunnitella sellaiset rakenteet, jotka on mahdollista toteuttaa. Kaluston selvittäminen etukäteen voi myös sujuvoittaa rakentamista aikataulun kannalta sekä helpottaa laadun varmistamista.

Suunnitelmien ja toteutuksen yhteensovittamista voisi parantaa yhteisellä työmaan aloituskokouksella sekä tarvittaessa yhteisellä kokouksella tarjouspyyntöasiakirjojen laadintavaiheessa, jossa olisi mukana niin rakennuttaja, suunnittelija kuin rakentaja. Aloituskokouksessa käytäisiin perusasioiden lisäksi läpi suunnitelmat suunnittelijälähtöisesti. Suunnitelmien läpikäynti sisältäisi esimerkiksi suunnitelmien arviointia, mahdollisten haastavien kohtien läpikäyntiä, tehtyjen ratkaisujen perusteluiden avaamista ja ymmärtämisen varmistamista, mahdollisten puutteiden huomioimista sekä niiden korjaamistoimenpiteiden suunnittelua. Aloituskokous sisältäisi myös maastokäynnin. Yhteinen aloituskokous voisi madaltaa yhteydenpidon kynnystä ja sujuvoittaa rakentamista, kun mahdolliset haasteelliset kohdat sekä puutteet ovat etukäteen tiedossa, jolloin niihin voidaan jo rakentamisen alussa miettiä ratkaisuja ja tarvittaessa hankkia lisätietoja. Jonkinlainen yhteinen aloituskokous voisi olla jo ennen varsinaisen suunnittelun aloittamista, mutta se vaatisi urakoitsijan valitsemista esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheen jälkeen, mikä käytännössä voi perinteisten urakkamuotojen yhteydessä olla haastavaa.

Toteutuksen ajalle voisi jättää option tie- ja geosuunnittelijan paikallaolosta työmaalla haastavia ja paljon epävarmuuksia sisältäviä kohtia rakennettaessa, esimerkiksi laajojen painumakohtien ja turvealueiden kohdalla. Esimerkiksi kuivatuksen kunnostaminen voi aiheuttaa nykyisen tien painumisolosuhteissa muutoksia, joita voi olla haastavaa arvioida ja suunnitella etukäteen. Optio voisi olla käytännössä suunnittelusopimukseen sisältyvä työ, joka laskutetaan käytön mukaan, mutta se ei kuitenkaan olisi varsinaista lisätyötä vaan työmäärä olisi arvioitu esimerkiksi kohteen haastavuuden mukaan. Jos option työmäärä jäisi käyttämättä osin tai kokonaan, voisi sen käyttää esimerkiksi valmiin työn dokumentointiin yhdessä rakentajan kanssa, jolloin esimerkiksi mallipohjaisen toteumatiedon tuottamista voisi kokeilla toteuttaa ja kehittää.

Yhteydenpitoon olisi hyvä olla jokin helppokäyttöinen sovellus, jota kaikkien hankkeen osapuolten olisi mahdollista käyttää koko hankkeen ajan. Sovellusta voisi käyttää rakentamisen valmistuttua myös palauteväylänä, josta hankkeen toteutuksen jälkeen hankkeen osapuolet voisivat omatoimisesti käydä katsomassa levennysrakenteen

tilannetta. Tämä toki vaatii tietojen lisäämistä ja päivittämistä sovellukseen esimerkiksi tien hoidon ja ylläpidon toimesta. Tien kunnon seuraamiseen ja tietojen päivittämiseen voisi kehittää keinoja ja yhteisen avoimen tietokannan esimerkiksi hoidon ja ylläpidon, tien käyttäjien, viranomaisten, ammattiautoilijoiden ynnä muiden havaintojen kirjaamiseen sekä kuvien ja videoiden lataamiseen. Esimerkiksi tiedot painumista, routaheitoista, kevään tulvavesistä, niiden korkeuksista ja viipymistä voisivat olla hyödyllistä tietoa leventämisen suunnittelun yhteydessä. Tietokannasta voisi seurata tien kunnon kehittymistä ja myöhemmin saisi tietoja tien historiasta. Autoihin voisi kehittää järjestelmiä ja antureita, joilla mitataan esimerkiksi tien pinnan tasaisuutta ja urasyvyyyttä ja tieto siirtyisi automaattisesti tietokantaan. Palvelu vaatisi aktiivista käyttämistä, mutta helppokäyttöisyys ja maanläheisyys voivat edistää havaintojen lisäämistä ja palvelun käyttämistä.

Kuten edeltä voidaan huomata, jo lähtötietojen hankinta vaatii useiden eri tekniikkalajien ja hankkeen vaiheiden osaamista. Haastatteluvastauksissa tuli vahvasti ilmi yhteistyön, yhteisen tahtotilan ja palautteen merkitys. Levennysrakentamisen luonteen vuoksi avoin ilmapiiri ja sujuva keskusteluyhteys ovat tärkeitä. On ymmärrettävä, että kyseessä on haastava rakentaminen, jossa ei useinkaan voida tehdä täysin varmoja ratkaisuja. Kaikkien tahtotila on kuitenkin pyrkiä parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen, mikä korostui haastatteluvastauksissa. Ratkaisun lopputulos on aina oppimisen ja kehittämisen paikka, eikä näin ollen kannata ei niin hyvin onnistunutta rakennetta mieltää virheeksi, vaan ennemmin selvittää, miksi rakenne ei onnistunut tai onnistui ja kehittää toimintaa sen mukaan. Tieto onnistuneista ja epäonnistuneista rakenteista auttaisi samankaltaisten ratkaisujen tekemisessä tai välttämisessä. Tiedon kulku taas vaatii keskustelua ja palautteiden käsittelyä. Haastatteluissa etenkin suunnittelijat kertoivat, että heille ei tule palautetta suunnitelmista, jolloin suunnittelu on paljolti kokemuksen ja verkostojen varassa. Niin oman toiminnan kehittäminen kuin leventämisrakentamisen kehittäminen yleisesti on haastavaa, jos ei ole tietoa, miten ratkaisut ovat toimineet. Rakentajille palaute tulee esimerkiksi takuuajan mukaisesti. Tätä palautekanavaa voisi laajentaa koskemaan myös suunnittelijoita.

Haastattelutulosten ja teorialiedon valossa voidaan todeta leventämisrakentamisen suunnittelussa esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheen selkeästi ohjaavan koko hanketta. Silloin tehdään valinnat levennyksen suuruudesta, jonka voidaan käytännössä katsoa määräävän myös käytettävän leventämismenetelmän. Haastateltavat mielsivät lähes

yksinomaan auraamisen keveäksi leventämistoimenpiteeksi ja leventämisen kaivamalla varsinaiseksi leventämiseksi. Auraaminen koettiin hyväksi menetelmäksi kohteissa, joissa on kantava ja tasalaatuinen pohjamaa sekä selkeät, rakennetut nykyisen tien rakennekerrokset. Auraamisen menetelmän soveltuvuuden arvioinnissa olisi hyvä tarkastella koko tien kuntoa päällysteen kunnan lisäksi, vaikka usein päällysteen kunnosta voidaankin päätellä riittävän tarkasti vauriot ja niiden aiheuttajat. Haastateltavien mukaan tien leventämistoimenpidettä suunnitellessa tulisi arvioida tarkemmin kokonaisuutta, jossa huomioitaisiin nykyisen tien parantamistarve tulevaisuudessa. Rahoitus määrää hyvin pitkälle tehtävät toimenpiteet, mutta niitä pitäisi arvioida myös pidemmällä aikajänteellä. Tulisi arvioida, että jos nyt tehdään kevyt leventäminen, mutta tietä joudutaan kuitenkin jostain syystä korjaamaan lähivuosina, olisiko kannattavampaa tehdä heti koko tien parantaminen. Auraamisella tehtävässä leventämisessä myös voi tulla rakentamisen aikaan vastaan kohtia, joissa suunnitelmasta poiketen joudutaan tekemään raskaampi levennystoimenpide kaivamalla, mikä taas vaikuttaa kustannuksiin. Haastatteluissa todettiin usein nykyisen tien aiheuttavan saumahalkeaman levennysosan pysyessä paikoillaan ja kunnossa. Tärkeää olisi esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa arvioida tierakennetta kokonaisuutena, arvioida ja selvittää vaurioiden aiheuttajia sekä pohtia, miten vaurion uusiutuminen voitaisiin estää.

Taulukossa 8 on esitetty kooste edellä läpikäydyistä kehitysehdotuksista. Koosteeseen on listattu ehdotukset tien leventämishankkeen eri vaiheiden mukaisesti.

Taulukko 8. Kooste kehitysehdotuksista hankkeen eri vaiheiden mukaisesti

Hankkeen vaihe	Kehitysehdotus
Esiselvitys ja yleissuunnittelu	Hankemuodon kehittäminen riskien jakautumisen tasaamiseksi sekä yhteistyön kehittämiseksi ja hyödyntämiseksi
	Riskiarvioinnin kehittäminen, esimerkiksi infrariskikarttatyyppisen riskimatriisin kehittäminen
	Riskimatriisin jatkokehittäminen lähtötietojen hankinnan apuvälineeksi
	Lähtötietojen hankinnan kehittäminen
	Eri menetelmien soveltuvuuden arvioiminen lähtötietojen pohjalta
Tie ja rakennussuunnittelu	Nykyisen tien rakennekerrosten ominaisuuksien selvittäminen, esimerkiksi rakeisuus, maalaji ja routivuus

	Päällystämisen suunnittelu
	Rakentajien kaluston selvittäminen
	Yhteinen työmaan aloituskokous ja tarvittaessa kokous tarjouspyyntöasiakirjojen laadintavaiheessa rakennuttajan, suunnittelijan ja rakentajan kesken
	Optio suunnittelijan läsnäololle työmaalla haastavien kohteiden osalta
	Sovelluksen kehittäminen yhteydenpitoon koko hankkeen ajalle sekä palautekanavaksi. Samalla se olisi avoin tietopankki, johon kaikki tienkäyttäjät voisivat lisätä omia havaintoja ja muistiinpanoja
	Yhteistyön kehittäminen hankkeen eri tekniikkalajien ja asiantuntijoiden kanssa
	Palautteen kysyminen toteutuneesta rakenteesta
Toteutus	Reagointi poikkeamiin
	Huolellisuus luiskan avauksessa, huomio muun muassa leikkauspohjaan, nykyisen tien rakennekerrosten varisemiseen ja päällysteen reunan kunnon seuraamiseen
	Yhteistyön kehittäminen kaikkien osapuolten kesken

Kuten jo kappaleen alussa todettiin, tien levantämisen suunnittelu ja rakentaminen on haastavaa ja tutkimustietoa on vähän. Kaikki aiheeseen liittyvä tutkimus edistää varmasti kehittämään entistä laadukkaampia levennystoimenpiteitä ja ratkaisuja. Myös hankemuotojen kehittäminen voi edistää onnistumista, kun riskinjakoa voidaan hajauttaa ja yhteistyötä tehdä vielä toimivammaksi. Haastattelu oli mielenkiintoinen ja opettavainen tapa etsiä ja koota tietoa aiheesta. Haastattelu antoi haastateltaville mahdollisuuden kertoa omia näkemyksiä ja kokemuksia olemassa olevien ohjeistusten lisäksi, jolloin uusien näkökulmien ja tekijöiden löytäminen on mahdollista.

Jatkotutkimuksia ajatellen vielä tarkempi aiheen rajausta olisi hyödyllistä, jolloin keskityttäisiin esimerkiksi vain yhteen kohteeseen. Haastateltavilta kysyttäisiin sitova suostumus ennen haastatteluiden tekemistä. Haastatteluiden avulla kartoitettaisiin kohde lähtötilanteesta vähintään kolmen vuoden päähän rakentamisesta ja vastausten perusteella arvioitaisiin tehtyjä ratkaisuja. Kohde voisi olla myös lähivuosina parantamisvuorossa

oleva levennettävä tie, jota seurattaisiin koko hankkeen ajan vähintään kolmen vuoden päähän rakentamisesta. Tutkimuksen tuloksena saataisiin tarkkaa ja yksityiskohtaista tietoa kohteen lähtötiedoista, tehdyistä suunnitelmista, toteutuneista levennysrakenteista ja niiden toimivuudesta kolmen vuoden kuluttua rakentamisesta. Tulosten perusteella voitaisiin mahdollisesti tehdä johtopäätöksiä levennysrakenteen onnistumiseen vaikuttavista tekijöistä kohteessa tarkasti. Tutkimuksen tuloksia voitaisiin jatkossa soveltaa muihin kohteisiin sekä jakaa tietoa ja kehittää tietämystä levennysrakenteista, niiden suunnittelusta ja rakentamisesta.

7.2 Tutkimuksen luotettavuuden arviointi

Kaikissa tutkimuksissa pyritään arvioimaan tehdyn tutkimuksen luotettavuutta ja pätevyyttä erilaisilla mittaus- ja tutkimustavoilla. Tutkimuksen reliaabeliuksella tarkoitetaan tutkimuksen kykyä antaa ei-sattumanvaraisia tuloksia eli mittaustulosten toistettavuutta. Tutkimuksen validiudella taas tarkoitetaan mittarin tai tutkimusmenetelmän kykyä mitata juuri mittauksen kohteena olevaa asiaa. Reliaabelius ja validius ovat syntyneet kvantitatiivisen tutkimuksen parissa ja niiden käyttö kvalitatiivisen tutkimuksen mittarina voidaan kokea hankalana.

Kvalitatiivinenkin tutkimus on kuitenkin jollain tavalla pystyttävä arvioimaan ja hyviä keinoja siihen ovat esimerkiksi tutkijan tarkka selostus tutkimuksen toteuttamisesta. Selostuksesta tulee käydä ilmi selvästi ja totuudenmukaisesti aineiston tuottamisen olosuhteet, haastatteluihin käytetty aika, tutkijan itsearviointi haastatteluista, luokittelun tekemisen alkujuuret ja perusteet, tulosten tulkinnan perusteet sekä päätelmien perusteet. Tutkimuksen validiutta voidaan tarkentaa myös käyttämällä tutkimuksessa useita eri menetelmiä, useampaa tutkijaa, useampaa eri teorian näkökulmaa tai useita erilaisia tutkimusaineistoja saman ongelman ratkaisemiseksi.

Tämän työn haastattelututkimus toteutettiin puolistrukturoituna asiantuntijahaastatteluna. Haastattelu on kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä, minkä vuoksi työn luotettavuutta ei voida arvioida käyttämällä reliaabeliuden ja validiuden arvioinnin menetelmiä. Haastattelun luotettavuuden arviointiin käytetään selostusta tutkimuksen toteuttamisesta. Haastattelun toteuttaminen on selitetty työn alkuosassa ja haastattelutulosten käsittelyn yhteydessä. Kokonaisuutena arvioituna haastattelut olivat onnistuneita ja haastatteluille asetetut tavoitteet saavutettiin. Haastateltavien määrä oli suppeahko, etenkin

roolikohtaisesti arvioituna, mutta kuitenkin riittävä haastatteluvastauksista löytyvien yhtäläisyyksien määrän perusteella arvioituna. Haastatteluvastaukset olivat kunkin haastateltavan kokemukseen ja näkemyksiin perustuvia havaintoja.

Haastatteluun osallistuminen oli vapaaehtoista ja työn edetessä osa haastattelupyynnön saaneista ilmoitti haluavansa jäädä pois haastattelusta. Haastateltavien joukko olisi siten jäänyt entistä pienemmäksi, jolloin haastatteluihin otettiin mukaan myös tilaajan valitsemien kohteiden ulkopuolelta haastateltavia. Näin saatiin kasvatettua haastateltavien joukkoa, enemmän vastauksia ja parannettua tutkimuksen luotettavuutta. Haastatteluvastausten analysointiin ja tulkintaan otettiin mukaan vain yleisesti tien leventämistä koskevat vastaukset, koska jokaisesta kohteesta ei saatu edustavaa joukkoa haastateltavia, jolloin kohteiden yksityiskohtainen tarkastelu ja analysointi ei ollut mahdollista joidenkin tekniikkalajien puuttuessa vastaajien joukosta.

Haastatteluvastausten litterointiin, analysointiin ja tulkintaan on voinut vaikuttaa useat eri tekijät. Haastatteluvastausten painottumiseen teemoittain on voinut vaikuttaa esimerkiksi haastateltavan rooli ja kokemus toimimisesta hankkeen eri vaiheissa. Haastattelijan tekemät tulkinnat vastauksista ovat voineet vaikuttaa vastausten jakautumiseen. Haastattelijan tekemiin tulkintoihin on voinut vaikuttaa haastattelijan kokemus, tausta ja tieto aiheesta sekä omat asenteet ja näkemykset. Haastattelutulosten tulkintaan liittyvien tekijöiden vuoksi haastateltavat saivat tulokset kommentoitavaksi ennen työn tarkastamista, jotta mahdolliset tulkintaerot oli mahdollista huomata ja tarkentaa. Haastatteluista tehdessä ja vastauksia käsitellessä pyrittiin neutraaliuuteen, joka oli aiheen ja alankin puolesta erittäin tärkeää. Haastatteluissa ja vastausten käsittelyssä onnistuttiin hyvin ja tutkimustulokset ja niiden tulkinnat ovat luotettavia ja käyttökelpoisia.

8 POHDINTA

Haastatteluissa tuli teemoja koskevia vastauksia yhteensä 438 kpl. Rooleittain vastauksia tarkasteltaessa rakennuttajat vastasivat tierakenteen kuivatusta, levennysosan ja nykyisen päällysteen limittämistä sekä levennysosan luiskakaltevuutta koskeviin teemoihin aktiivisimmin. Suunnittelijat taas vastasivat aktiivisimmin levennysosan ja nykyisen tien välisen saumakohdan sijoittamista, levennysosan ja nykyisen tien painumista sekä levennysosan jälkitiivistymistä koskeviin teemoihin. Rakentajat olivat vastanneet aktiivisimmin levennysosan ja nykyisen tien epätasaista routimista, tierakenteen kuivatusta sekä levennysosan luiskakaltevuutta koskeviin teemoihin. Rooleittain vastauksissa oli selkeästi hajontaa, mutta yksi yhtäläisyyskin löytyi. Rakennuttajat ja rakentajat olivat vastanneet aktiivisimmin tierakenteen kuivatusta koskevaan teemaan.

Rakentajat ja rakennuttajat olivat vastanneet aktiivisimmin teemaan tierakenteen kuivatusta. Tätä voi selittää esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa tehtävän kuivatuksen selvittämistarkkuuden vaikutus toteutusvaiheeseen. Kuivatuksen selvittäminen toteutusvaiheessa vaikuttaa siten, että mitä tarkemmin esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa on selvitetty kuivatuksen nykytila, kuivatuspuutteet, rumpujen määrä, sijainti, kunto ja kunnostus- sekä pidentämistarve, sekä laskuojien sijainnit, kunnostustarpeet ja kunnostukseen tarvittavat luvat, sitä sujuvampaa on toteutusvaiheessa kuivatuksen kunnostaminen. Molemmat roolit olivat yhtä mieltä siitä, että kuivatus tulee selvittää tarkasti ja kuivatus tulee kunnostaa tien leventämisen yhteydessä. Etenkin laskuojien luvanvaraisuuden vuoksi haettavat maanomistajan luvat kunnostukseen tulisi tehdä ennen toteutusta, mielellään jo esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa, mutta viimeistään tie- ja rakennussuunnitelmavaiheessa. Käytännössä tämä tarkoittaa tiealueen laajuuden kartoittamista hyvissä ajoin ja sen perusteella laskuojien sijainnin ja riittävyysarviointia, koska tiealue ei ole aina riittävä laskuojien kunnostamiseen. Jos laskuojien todetaan ulottuvan tiealueen ulkopuolelle, tarvittavat lupa-asiat tulisi varmistaa kuntoon ennen toteutusta.

Vastauksista suurin osa kohdistui teemoihin levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen painuminen, levennysosan ja nykyisen tien epätasainen routiminen, levennysosan jälkitiivistyminen sekä levennysosan luiskakaltevuus. Näitä teemoja voidaan haastatteluvastausten määrän perusteella pitää kaikista teemoista tärkeimpinä tekijöinä haastateltavien mukaan tien

levennysrakenteen onnistumisessa. Tätä voi selittää tien levennysosan ja nykyisen tien homogenisoinnin haasteellisuus. Nykyisen tien ja levennysosan kerrospaksuuksien ja materiaalien yhtenäistäminen voi olla vaativaa nykyisen tien rakennekerrosten vaihtelevuuden sekä pohjaolosuhteiden vuoksi. Kerrospaksuudet ja materiaalit taas vaikuttavat rakenteen painumiseen ja routimiseen. Rakenteiden ollessa ei-tasalaatuiset levennysosa ja nykyinen tie käyttäytyvät eri tavalla tierakenteen jäätyessä ja liikennekuormituksen vaikutuksesta.

Levennysosan jälkitiivistyminen on myös yhteydessä levennysosan materiaaleihin ja kerrospaksuuksiin, mutta myös levennysosan pohjamaalla on vaikutusta jälkitiivistymiseen. Haastatteluissa levennysosan jälkitiivistymiseen koettiin olevan vaikutusta materiaalien tiivistämisellä sekä pohjamaan kantavuudella. Levennysosan tiivistäminen koettiin hankalaksi etenkin kapeissa leventämisissä. Pohjamaalla taas koettiin olevan vaikutusta pehmeiköillä ja etenkin turvekohdissa, joissa turve oli jätetty nykyisen tierakenteen alle. Suunnittelutyön aikana jo esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa koettiin tarpeelliseksi huomioida suunniteltavan levennyksen leveys ja sijoittaminen, jotta suunnittelutyön aikana voitaisiin suunnitella toteutettavissa olevat rakenteet kalustonkin puolesta. Levennysosan luiskakaltevuuden tarkka selvittäminen koettiin myös tärkeäksi tekijäksi levennysosan leveyden suunnittelun kannalta, mutta myös levennyksen vaatiman tiealueen ja sen vaatimien toimenpiteiden kannalta.

Luiskakaltevuudella on haastateltavien mukaan vaikutusta myös tien leventämismenetelmän valintaan, mikä taas vaikuttaa esimerkiksi kustannuksiin. Tien leventäminen auraamismenetelmällä on edullisempaa kuin kaivamalla, mutta pitkällä tähtäimellä kustannustehokkuudesta ei oltu varmoja. Tien kuntoa ja sen kehittymistä, etenkin vauriokohdilla, pidettiin haastateltavien mielestä tärkeänä kokonaiskustannusten kannalta, koska levennyskohdan korjaaminen ajan saatossa voi toisaalta tulla kustannuksiltaan korkeammaksi kuin nykyisen tien parantaminen leventämisen yhteydessä. Luiskakaltevuuden ja luiskien materiaalien selvittäminen koettiin tärkeäksi, jotta voitiin varmistua leventämismenetelmän soveltuvuudesta kyseiseen kohteeseen. Liikenneturvallisuuden kannalta pidettiin tärkeänä riittävän loivia luiskia sekä luiskatäyttöjen poistamista kokonaan ennen uusia rakennekerroksia levennettävältä kohdalta, jotta voidaan taata riittävä tuki luiskan kohdalla sortumista vastaan liikenteelle. Luiskakaltevuudet, luiskien materiaalit ja materiaalien ulottuvuus olisi haastateltavien

mukaan hyvä selvittää jo esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa leventämisratkaisun tueksi.

Tuloksista voidaan tulkita rakentajien pitävän tärkeinä esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheen lähtötietojen hankintaa sekä tie- ja rakennussuunnitteluvaiheen routivuuteen liittyviä mitoituksia ja selvityksiä. Tulos myös ilmaisee toteutusvaiheen tärkeiden levennysosan onnistumisessa nykyisen tien ja levennysosan yhteensovittamisen kannalta. Teemat levennysosan jälkitiivistyminen ja levennysosan ja nykyisen tien päällysteen limittäminen olivat saaneet lähes yhtä paljon vastauksia kuin teema levennysosan ja nykyisen tien epätasaiset kerrospaksuudet ja materiaalit. Tästä voidaan päätellä kaluston olevan merkittävä tekijä toteutusvaiheessa rakenteen onnistumisen kannalta, koska etenkin kapeiden levennysten tiivistäminen ja päällystäminen on haastavaa yleisesti käytettävissä olevilla tiivistys- ja asfaltinlevityskalustoilla.

Haastatteluvastausten hajonnan ja aiheesta löytyvän teorian ja tutkimustulosten perusteella voidaan todeta, että leventämisrakentamisen onnistumiseen ei voida yksiselitteisesti määrittää tiettyjä tekijöitä, vaan onnistumiseen vaikuttaa useat eri tekijät. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset ovat hyvin samankaltaisia aiempaan Roadexin tekemään tutkimukseen verrattuna. Kohteiden monimuotoisuus ja vaihtelevuus aiheuttavat haasteita leventämisrakentamiseen, mikä on huomioitava jo esiselvitys- ja yleissuunnitteluvaiheessa. Leventämisrakentamisen onnistumisen mahdollisuuksia voidaan kuitenkin yrittää parantaa yhteistyön ja kokemuksen hyödyntämisellä koko hankkeen ajan riittävillä, kohteen mukaisilla lähtötiedoilla, yhteisellä tahtotilalla ja selkeillä tavoitteilla sekä reagoimalla poikkeuksiin. Riittävät lähtötiedot auttavat tekemään laadukasta suunnittelua, mikä taas vaikuttaa toteutusvaiheessa suunnitelmien toteutettavuuteen ja poikkeamien määrään. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella voidaan todeta, että tien levennysten saumahalkeamiin ei voida määritellä yksiselitteisesti tekijöitä tällä aineistolla. Tutkimuksessa tunnistetut tekijät voivat kuitenkin vaikuttaa levennysosan saumahalkeaman muodostumiseen, joten tekijöitä voidaan pitää seikkoina, mitkä pitää huomioida aina levennysrakentamisen yhteydessä. Tulosten perusteella saadut tekijät ovat siis tyypillisimpiä, mutta eivät välttämättä edusta kaikkia mahdollisia tapauksia.

LÄHDELUETTELO

Austroroads, 2020. Supplement to Austroroads Guide to Road Design, Part 3: Geometric Design [verkkodokumentti]. State of Queensland (Department of Transport and Main Roads): Austroroads. Saatavilla: <file:///C:/Users/salla.konttinen/Downloads/RPDMSuppVol3Part3.pdf> [viitattu 10.8.2021].

Ehrola, E., 1996. Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Helsinki: Rakennustieto Oy, 365 s. ISBN 951-682-338-6

Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus, 2020. Kunnossapito, Tienpidon painopiste kunnossapidossa [verkkodokumentti]. ELY-keskus. Saatavissa: https://www.ely-keskus.fi/kunnossapito2/-/categories/14404?p_r_p_resetCur=true&p_r_p_categoryId=14404#ely-region-selection [viitattu 14.7.2021].

Finlex, 2018. Laki liikennejärjestelmästä ja maanteistä [verkkodokumentti]. Finlex: Edita Publishing Oy. Saatavissa: <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20180572> [viitattu 10.8.2021].

Hartikainen, O-P., 2003. Tietekniikan perusteet. 5 painos. Helsinki: Otatieto Oy, 171 s. ISBN 951-672-336-5

Hirsjärvi, S. & Hurme, H., 2008. Tutkimushaastattelu, Teemahaastattelun teoria ja käytäntö. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press, 213 s. ISBN 978-952-495-073-2

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara P., 2009. Tutki ja kirjoita. 15 painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi, 464 s. ISBN 978-951-31-4836-2

Hyvärinen, M., Nikander, P. & Ruusuvuori, J., 2017. Tutkimushaastattelun käsikirja. Tampere: Vastapaino, 460 s. ISBN 978-951-768-579-5

Jyväskylän yliopisto, 2014. Tutkimusstrategiat [verkkodokumentti]. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Saatavissa:

<https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat>
[viitattu 31.5.2021].

Jääskeläinen, R., 2009. Geotekniikan perusteet. Tampere: Tammertekniikka / Amk-Kustannus Oy, 332 s. ISBN 978-952-5491-50-0

Liikennevirasto, 2015. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, Suunnitteluvaiheen ohjaus [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2015-10_geotekniset_tutkimukset_web.pdf [viitattu 18.2.2021].

Liikennevirasto, 2018. Kairausopas II, Siipikairaus (1995) ja Liikenneviraston soveltamisohjeet (2018) [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto ja Suomen geoteknillinen yhdistys r.y. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/ohje_2018_siipikairaus_web.pdf [viitattu 22.2.2021].

Liikennevirasto, 2011a. Kevennysrakenteiden suunnittelu, Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet 5/2011 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-05_kevennysrakenteiden_suunnittelu_web.pdf [viitattu 26.2.2021].

Liikennevirasto, 2011b. Massanvaihdon suunnittelu, Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2011-11_massanvaihdon_suunnittelu_web.pdf [viitattu 26.2.2021].

Liikennevirasto, 2018b. Penkereiden stabiliteetin laskentaohje, Liikenneviraston ohjeita 14/2018 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-14_penkereiden_stabiliteetin_web.pdf [viitattu 20.7.2021].

Liikennevirasto, 2013c. Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 5/2013 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-05_teiden_ja_ratojen_web.pdf [viitattu 20.7.2021].

Liikennevirasto, 2012. Tien geotekninen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 10/2012 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2012-10_tien_geotekninen_web.pdf [viitattu 10.3.2021].

Liikennevirasto, 2014. Tien perustamistavan valinta, Tiegeotekniikan käsikirja [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lop_2014-02_tien_perustamistavan_web.pdf [viitattu 22.2.2021].

Liikennevirasto, 2013a. Tien poikkileikkauksen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 29/2013 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-29_tien_poikkileikkauksen_web.pdf [viitattu 22.2.2021].

Liikennevirasto, 2013b. Tien rakennussuunnitelma, Toimintaohjeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2013-45_tien_rakennussuunnitelma_web.pdf [viitattu 29.3.2021].

Liikennevirasto, 2010b. Tiesuunnittelun kulku, Tiesuunnittelun toimintaympäristö [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://vayla.fi/documents/25230764/0/tiesuunnittelun+kulku_esite.pdf/1341b1b2-4629-4bdf-a763-32f41c7334e4 [viitattu 3.6.2021].

Liikennevirasto, 2010a. Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu, Tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf3/lo_9-2010_tiepenkereiden_ja_leikkausten_suunnittelu.pdf [viitattu 25.2.2021].

Liikennevirasto 2017, Tierakenteen ja maaperän kantokykyselvitykset, Toimintamalli raskaissa maantiekuljetuksissa [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-04_tierakenteen_maaperan_web.pdf [viitattu 7.6.2021].

Liikennevirasto, 2018a. Tierakenteen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 38/2018 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa:

https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-38_tierakenteen_suunnittelu_web.pdf [viitattu 18.2.2021].

Liikennevirasto, 2010c. Tiesuunnitelma, Toimintaohjeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf3/lo_2010-20_tiesuunnitelma_toimintaohjeet_web.pdf [viitattu 14.4.2021].

Rakennustieto Oy, 2020a. 18111 Maapenkereet, InfraRYL 2020/2 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2020_2/18100.html#TL18111id809393 [viitattu 25.2.2021].

Rakennustieto Oy, 2020b. 21110 Suodatinkerrokset, InfraRYL 2020/2 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2020_2/21100.html#TL21111id2950988 [viitattu 31.3.2021].

Rakennustieto Oy, 2020c. 21210 Jakavat kerrokset, InfraRYL 2020/2 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2020_2/21210.html#TL21210id1754817 [viitattu 31.3.2021].

Rakennustieto Oy, 2020d. 21310 Sitomattomat kantavat kerrokset, InfraRYL 2020/2 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2020_2/21300.html#TL21300id2556831 [viitattu 31.3.2021].

Rantamäki, M., Jääskeläinen, R. & Tammirinne M., 1993. Geotekniikka. 12 Painos. Helsinki: Otatieto Oy, 293 s. ISBN 951-672-157-5

Roadex Network, 2021. Tien kuivatusjärjestelmän osat [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurssit/teiden-kuivatus/4-tien-kuivatusjarjestelman-osat/> [viitattu 20.7.2021].

Saarenketo, T. & Varin P., 2013. Road widening, Field survey report [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/ROAD-EX-Road-Widening-Field-Survey-Report.pdf> [viitattu 11.5.2021].

Saarenketo, T. & Varin P., 2012. Road widening guidelines, A Roadex IV report for Task D2 “Widening of Roads” [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/ROAD-EX-Road-Widening-Guidelines-2012.pdf> [viitattu 11.5.2021].

Tampereen yliopisto, Kyselyaineiston havaintojen painottaminen [verkkodokumentti]. Tampere: Tampereen yliopisto. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvanti/painottaminen/painotus/> [viitattu 10.8.2021].

Tiehallinto, 2001. Geovahvistetutkimus, Koerakenteiden loppuraportti 1996...2001, Tiehallinnon selvityksiä 75/2001 [verkkodokumentti]. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: https://www.tieh.fi/thohje/pdf/3200721_01.pdf [viitattu 11.8.2021].

Tiehallinto, 2005. Rakenteen parantamisen suunnittelu, Suunnitteluvaiheen ohjaus [verkkodokumentti]. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/2100035-v-05rakentparantsuun.pdf> [viitattu 18.2.2021].

Tiehallinto, 2002a. Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto, Tiehallinnon selvityksiä 15/2002 [verkkodokumentti]. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <https://julkaisut.vayla.fi/pdf/3200747.pdf> [viitattu 1.4.2021].

Tiehallinto, 2002b. Tierakenteiden tutkimusohjelma 1994–2001, Yhteenvetoraportti, Tiehallinnon selvityksiä 36/2002 [verkkodokumentti]. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/83994308.pdf> [viitattu 10.8.2021].

Tiehallinto, 2009. Teräsverkkojen käyttö tierakenteissa, Tiehallinnon selvityksiä 20/2009 [verkkodokumentti]. Helsinki: Tiehallinto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/3201134-v-terasverkkojen_kaytto.pdf [viitattu 11.8.2021].

Tikkanen, S., 2010. Road widening, Literature review and questionnaire responses [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/Road_Widening_review_and_questionnaire-2010.pdf [viitattu 10.8.2021].

Vilkkä, H., 2007. Tutki ja mittaa, määrällisen tutkimuksen perusteet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://hanna.vilkkä.fi/wp-content/uploads/2014/02/Tutki-ja-mittaa.pdf> [viitattu 24.8.2021].

Väylävirasto, 2019. Teräsverkkojen ja geovahvisteiden mitoittaminen erilaisissa vauriotilanteissa, Väyläviraston tutkimuksia 10/2019 [verkkodokumentti]. Helsinki: Väylävirasto. Saatavissa: <https://docplayer.se/168946431-Terasverkkojen-ja-geovahvisteiden-mitoittaminen-erilaisissa-vauriotilanteissa.html> [viitattu 1.4.2021]

Väylävirasto, 2021. Tieverkon kunnossapito [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: <https://vayla.fi/kunnossapito/tieverkon-kunnossapito/korjausten-kohdentaminen>

Miten levennysrakenteen onnistumiseen voidaan vaikuttaa

- a) esiselvityksen ja yleissuunnittelun aikana
- b) tiesuunnittelun ja rakennussuunnittelun aikana
- c) rakentamisen aikana

Miten hankkeen eri osapuolet (rakennuttaja, rakentaja, suunnittelija) voivat vaikuttaa levennysrakenteen onnistumiseen?

Miten levennysrakenteen onnistumiseen voidaan vaikuttaa

- a) aikataulutuksella
- b) lähtötietojen hankinnalla
- c) pohjatutkimusten ohjelmoinnilla
- d) suunnittelulla
- e) materiaalivalinnoilla
- f) käytettävällä kalustolla
- g) laadunvalvonnalla
- h) muulla, millä?

Mitkä tekijät ovat vaikuttaneet kohteen onnistumiseen?

Mitä muuta tulee mieleen tien levennysten rakentamisesta?